

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ -  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**  
**Hornicko-geologická fakulta**  
Institut environmentálního inženýrství



# **Rekonstrukce retenční nádrže Sedlo**

## **Reconstruction of the Sedlo retention basin**

Diplomová práce

Autor:

Bc. Jan Zapletal

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.

Ostrava 2015

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Zapletal**  
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny  
Studijní obor: 2102T006 Technologie a hospodaření s vodou  
Téma: **Rekonstrukce retenční nádrže Sedlo**  
**Reconstruction of the Sedlo retention basin**

Zásady pro vypracování:

- 1) Úvod
- 2) Popis současného stavu
- 3) Specifikace problémů
- 4) Principy řešení (legislativní, technické)
- 5) Návrh variant řešení rekonstrukce
- 6) Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Vrána, K., Beran, J. Rybníky a účelové nádrže. 3. vydání. Praha: Skripta ČVUT Fakulta stavební, 2008. 150 s. ISBN: 978-80-01-04002-7
- [2] Václavík, V. Účelové vodohospodářské nádrže. 1. vydání. Ostrava: Učební texty VŠB-TU, 2007. 123 s.
- [3] Doležal, P., Golík, P., Říha, J., Torner, V., Žatecký, S. Malé vodní a suché nádrže. 1. vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2011. 108 s. ISBN: 978-80-86364-16-2
- [4] Hanák, K., Kupčák, V., Skoupil, J., Šálek, J., Tlapák, V., Zuna, J. Stavby pro plnění funkcí lesa. 1. vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2008. 300 s. ISBN: 987-80-87093-76-4

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2014

Datum odevzdání: 30.04.2015

  
doc. Dr. Ing. Radmila Kučerová  
vedoucí institutu



  
prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.  
děkan fakulty

### *Prohlášení*

- *Celou diplomovou práci, včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Ve své diplomové práci jsem s laskavým svolením použil fotodokumentaci Ing. Pavla Skalického.*
- *Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a §60 – školní dílo.*
- *Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečné, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci práci užít (§35 odst. 3).*
- *Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěné v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.*
- *Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>*
- *Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.*
- *Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).*

*V Ostravě dne .....*

*.....*

*Jan Zapletal v.r.*

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Ing. Vojtěchu Václavíkovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné připomínky a rady nejen při psaní diplomové práce, ale i v průběhu studia, které mi po dobu tohoto studia poskytoval.

## Summary

The thesis elaborates the project option of the multi-purpose forestry basin reconstruction. The retention effect is the primary function of the basin – to increase water supply in a landscape. In addition, there is water erosion protection function.

The project is supported by technical drawings and dimensions computation, based on theoretical framework of the small retention basin issues.

**Keywords:** retention basis, dam, reconstruction, Sedlo basin, lake Cáb

## Anotace

Diplomová práce zpracovává návrh řešení rekonstrukce víceúčelové hospodářské lesní nádrže. Primární funkcí této nádrže je její retenční účinek – zvýšení retence vody v krajině. Dále má funkci zejména protierozní.

Samotný návrh je podložen výkresovou dokumentací a výpočty, zasazenými do teoretického rámce problematiky malých vodních nádrží.

**Klíčová slova:** retenční nádrž, hráz, rekonstrukce, nádrž Sedlo, Cábské jezírko

# Obsah

1. Úvod.....	9
2. Popis současného stavu.....	10
2.1 Obecný popis .....	10
2.2 Popis stávajícího VD .....	10
2.3 Místní poměry.....	11
2.3.1 Hydrologické poměry .....	11
2.3.2 Geologické poměry .....	12
2.3.3 Klimatické poměry .....	13
3. Specifikace problému .....	13
4. Principy řešení .....	15
4.1 Definice malé vodní nádrže a související legislativa .....	15
4.1.1 Definice malé vodní nádrže .....	15
4.1.2 Legislativa.....	16
4.2 Rozdělení a funkce malých vodních nádrží.....	18
4.2.1 Rozdělení dle účelu vodní nádrže.....	18
4.2.2 Rozdělení dle způsobu napájení nádrže vodou .....	19
4.2.3 Rozdělení z hlediska technického řešení nádrže .....	19
4.3 Současné problémy malých vodních nádrží.....	21
4.3.1 Problémy vodohospodářské .....	21
4.3.2 Problémy technického rázu.....	22
4.3.3 Ekologické problémy.....	23
4.3.4 Ekonomické problémy.....	23
4.4 Výběr místa nádrže .....	24
4.4.1 Charakteristiky nádrže .....	25

4.5 Technické řešení malých vodních nádrží .....	27
4.5.1 Materiál pro stavbu hrází .....	28
4.5.2 Homogenní hráz .....	32
4.5.3 Nehomogenní hráz .....	32
4.5.4 Příčný profil hráze .....	33
4.5.5 Výpustná zařízení MVN .....	37
4.5.6 Bezpečnostní přelivy MVN .....	43
5. Možné varianty řešení rekonstrukce .....	47
5.1 Posouzení možných variant řešení .....	47
5.2 Rozpracování vybrané varianty řešení .....	47
5.2.1 Založení hráze .....	47
5.2.2 Hráz retenční nádrže .....	47
5.2.3 Koruna retenční nádrže .....	48
5.2.4 Návodní svah .....	48
5.2.5 Vzdušní svah .....	48
5.2.6 Patní drén .....	48
5.2.7 Nádrž .....	51
5.2.8 Hrubý materiálový odhad nákladů .....	60
6. Závěr .....	61
Literatura .....	62
Mapová dokumentace .....	64
Obrazová dokumentace .....	65
Seznam příloh .....	68

## Seznam použitých zkratek

DN .....	jmenovitý vnitřní průměr potrubí
MVN .....	malá vodní nádrž
OPŽP .....	Operační program Životní prostředí
RN .....	retenční nádrž
VD .....	vodní dílo
VH .....	vodohospodářské, vodní hospodářství
ŽB .....	železobeton



## 1. Úvod

Voda, v současné době i jako strategická surovina, je nepostradatelnou složkou životního prostředí, která denně ovlivňuje život kolem člověka. Její strategický význam spočívá především v nepostradatelnosti pro lidský, živočišný i rostlinný organismus. Tvoří prostředí pro životní děje, je přirozeným rozpouštědlem pro látky obsažené v lidském těle, napomáhá činnosti trávicího ústrojí. Pro rostliny je základním transportním mechanismem roznášejícím látky, pro některé druhy je, sama o sobě, přirozeným životním prostředím. Z těchto důvodů je nezbytné se o vodu v krajině starat, čistit ji, neplýtvat jí.

Česká republika, ležící v území třech úmoří – Baltského, Černého a Severního. Tvoří bezpřítokovou oblast, odkud všechna voda v tocích z území republiky odtéká, avšak žádná nepřitéká. Republika je tudíž odkázána pouze na zdroje vody ze srážek a zdroje podzemní vody. V důsledku intenzivní zemědělské produkce v minulém století byla řada našich toků napřimována a jinak upravována (z důvodů slučování polností, rozorání mezí, atd.), což mělo za následek zrychlený odtok vody z území. V současnosti také projevující se extrémní výkyvy počasí, působící např. bleskové povodně, nepřispívají k zadržení vody v daném povodí, nehledě na hospodářsko-ekonomické dopady.

Z výše zmíněného plyne, že zadržení vody v krajině by mělo být prioritou každého dobrého hospodáře. K takovému účelu vesměs slouží vodní díla určená pro zpomalení odtoku vody z krajiny – přehrady, rybníky, malé vodní nádrže. Těchto děl je v republice celá řada, od těch nejznámějších, jako je Lipno nebo Rožmberk, až po bezejmenné malé nádrže ukryté v lesích. Všechna tato vodní díla musí být udržována tak, aby bezvadně plnila svou funkci. Pokud svou funkci zcela neplní, je nutné dotčené vodní dílo opravit, pokud ani to není možné, je nutné jej rekonstruovat. Nad rámec již postavených děl by bylo vhodné, i vzhledem ke klimatickým změnám, začít s výstavbou nových vodních děl, ne jen jejich plánováním. V současné době je v České republice přes 60 stavebních uzávěr v oblasti vodního hospodářství, ale žádná stavba samotná. (Záleský, 2014)

Cílem diplomové práce je návrh řešení rekonstrukce retenční nádrže Sedlo v katastru obce Malá Bystřice v okrese Vsetín, kraj Zlínský.

Teoretická část práce je koncipována jako rozbor problematiky malých vodních nádrží tak, jak jsou definovány dle ČSN 75 2410.

Praktická část se zabývá samotnou retenční nádrží Sedlo, jejím současným stavem, využitím a důvody vedoucí k rekonstrukci. Dále pak samotným řešením rekonstrukce, technickými propočty a projektovou dokumentací – výkresy.

Vlastní práce se skládá ze dvou částí, textové a výkresové.

## 2. Popis současného stavu

### 2.1 Obecný popis

Retenční nádrž Sedlo se nachází v katastru obce Malá Bystřice, v okrese Vsetín, kraj Zlínský, na parcele číslo 1168/8. Tato malá vodní nádrž je situována cca 2 km vzdušnou čarou jihovýchodně od autobusové zastávky Malá Bystřice revír, nedaleko Horského hotelu Vsacký Cáb a nejvyššího vrcholu Malé Bystřice Vsacký Cáb (841 m n. m.), odtud místní označení „Cábské jezírko“. Nachází se uprostřed hospodářsky využívaného lesního porostu. Přímo k nádrži pak vede lesní hospodářská komunikace z Malé Bystřice a tzv. Baťova naučná stezka po žluté turistické trase od zmíněného hotelu. Základní topografický přehled nabízí Obr. 25, str. 64.

Původní nádrž byla vybudována kolem roku 1965, na pravostranném přítoku říčky Bystřičky. Byla zbudována přehrazením původní terénní sníženiny v místě užší odtokové strže. Nádrž má 3 malé přítoky, pramenící v okolí. Cca 100 m východně od nádrže se nachází lokalita V Sedle, což je rozsáhlé prameniště odkryté velkým sesuvem napájející RN Sedlo. Celá lokalita, ve které se nachází nádrž včetně prameniště, leží v nadmořské výšce cca 650-665 m n. m.

Nádrž je ve správě firmy Lesy ČR, Správa toků – oblast povodí Moravy Vsetín, ost č. 57. RN Sedlo leží na bezejmenném pravostranném přítoku říčky Bystřičky, číslo hydrologického pořadí 4 – 11 – 01 – 087. Kilometráž toku v ose hráze je 0,364 km.

### 2.2 Popis stávajícího VD

Původní nádrž byla vybudována v terénní depresi, vzniklé po rozsáhlém sesuvu půdy nad budoucí nádrží. V současné době jsou vidět zbytky tohoto sesuvu nad severovýchodním břehem nádrže. V šedesátých letech dvacátého století pak byla tato deprese přehrazena v nejužším místě, vybavena otevřeným betonovým požerákem a prohloubena rypadlem. Břehy byly zpevněny dřevěnou kulatinou. Původní hráz byla nasypána vytěženou jílovito-kamenitou zeminou z výkopu v původní depresi s následným zhutněním. V této podobě byla nádrž provozována až do roku 2014, kdy byla provedena rekonstrukce za dohledu provozovatele nádrže.

Původní hráz byla postavena jako čelní průtočná homogenní hráz vyztužená dřevěnými kůly v délce cca 17 m. Sklon návodního svahu hráze je 1 : 3, sklon vzdušného svahu hráze 1 : 2. Minimální šířka hráze v koruně je 4 m, hloubka v místě požeráku je cca 3 m, v nejvyšším místě má hráz výšku nad terénem cca 3 m. Hráz nemá bezpečnostní přeliv, v případě vydatných srážek voda přetéká hráz v nejnižším místě koruny. Na straně nádrže směrem k prameništi vznikla rozsáhlá litorální zóna, sahající maximálně do hloubky cca 0,5 m, porostlá rákosem a jinými vodními rostlinami. Obdobně prostor prameniště (viz výše) a prostor mezi nádrží a prameništěm je porostlý rákosem a jinými vodními rostlinami.

Manipulace s výškou hladiny a prázdnění nádrže provádí se pomocí otevřeného betonového požeráku o rozměrech 1,2 x 1,3 m se dvěma dlužovými stěnami v ocelových drážkách. Voda je dále odváděna betonovým odpadním potrubím DN 600 délky 9 m, na které navazuje betová trouba DN 800 m v délce 1 m.

## 2.3 Místní poměry

### 2.3.1 Hydrologické poměry

RN Sedlo se nachází v povodí pravobřežního přítoku Bečvy, řeky Bystřičky, a náleží do úmoří Černého moře. Nádrž leží v místě původního soutoku třech bezejmenných toků, které v současnosti napájejí nádrž. Sklon dna nádrže kopíruje původní sklon dna napájecích toků.

#### Hydrologické údaje o přítocích v km 0,400

Plocha povodí ..... 0,500 km<sup>2</sup>

Délka údolnice ..... 0,710 km

Průměrný sklon údolí ..... 15 %

Zalesnění ..... 85 %

Rozsah nadmořských výšek ..... 647 – 660 m n. m.

Přirozený sklon terénu dna ..... 3%

**Tab. 1:** Povodňové průtoky celkem pro všechny přítoky

N-leté průtoky	Roky	1	2	5	10	20	50	100	Třída přesnosti
Průtok	m <sup>3</sup> /s	0,19	1,19	1,82	2,61	3,71	5,52	7,90	III

**Tab. 2:** Minimální m-denní průtoky

M-denní průtoky	Dny	30	90	180	270	330	355	364
Prof.	l/s	113,45	51,35	16,75	7,20	4,74	3,07	1,82

Hodnoty n-letých a m-denních průtoků, výsledná hodnota  $Q_{100}=7,90 \text{ m}^3/\text{s}$  a minimální zůstatkový průtok  $Q_{330d}=4,8 \text{ l/s}$  byly převzaty z Manipulačního řádu RN Sedlo.

### 2.3.2 Geologické poměry

Česká republika leží na území, kde se stýkají dvě geologické jednotky, které jsou součástí větších evropských geologických struktur. Pro českou geologickou stavbu jsou to jednotky základní- Český masiv, na kterém leží většina území republiky, a Západní Karpaty, ležící ve východním cípu území (Ústav geotechniky Fakulty stavební VUT v Brně, 2002). Dle (Česká geologická služba, 2015) se v lokalitě vyskytují horniny podle následující tabulky:

**Tab. 3:** Geologické poměry v okolí nádrže

Mapa : ID : název		2523 : 13 : Rožnov	2523 : 1905 : Rožnov
Hornina	Typ horniny	sediment nezpevnění	sediment zpevněný
	Hornina	hlína, kameny	jílovec, pískovec
	Popis	kamenitý až hlinitokamenitý sediment	pískovec, jílovec
	Minerální složení	pestré	křemen, drobový, (0)
	Zrnitost	kamenitá až hlinitokamenitá	-
	Barva	různá	rudohnědá, zelenohnědá
	Geneze	deluviální	marinní
Chronostratigrafie	Eratém	kenozoikum	kenozoikum
	Útvar	kvartér	paleogén
	Oddělení	-	paleocén, eocén
Litostratigrafie	Souvrství	-	belovežské
	Poznámka	-	drobně rytmičtý flyš
Regionální zařazení	Soustava	Český masiv – pokryvné útvary a postvariské magmatity	Karpaty
	Oblast	kvartér	flyšové pásmo
	Region	-	magurská skupina příkrovů
	Jednotka	-	račanská jednotka

Koryta napájecích toků jsou šterko-kamenitá, jejich břehy jsou pokryty slabou vrstvou zeminy.

Katastr obce Malá Bystřice spadá do oblasti s převládajícím podzolovým typem půd, vytvořených převážně na flyšových horninách, dále se zde nacházejí půdy hlinité a ve větších celcích půdy písčité.

### 2.3.3 Klimatické poměry

Dle (Quitt, 1971) náleží oblast kolem nádrže k přechodu dvou klimatických oblastí, a to CH6 a CH7. Dle následující tabulky lze tyto oblasti charakterizovat:

**Tab. 4:** Klimatická charakteristika dle Quitta, 1971

Klimatická charakteristika	CH6	CH7
Počet letních dnů	10 – 30	
Počet dnů s teplotou alespoň 10°C	120 – 140	
Počet mrazových dnů	140 – 160	
Počet ledových dnů	60 – 70	50 – 60
Průměrná teplota v lednu [°C]	-4 - -5	-3 - -4
Průměrná teplota v dubnu [°C]	2 – 4	4 – 6
Průměrná teplota v červenci [°C]	14 – 15	15 – 16
Průměrná teplota v říjnu [°C]	5 – 6	6 – 7
Počet dnů se srážkami alespoň 1 mm	140 – 160	120 – 130
Srážkový úhrn ve vegetačním období [mm]	600 – 700	500 – 600
Srážkový úhrn v zimním období [mm]	400 – 500	350 – 400
Počet dnů se sněhovou přikrývkou	120 – 140	100 – 120
Počet zatažených dnů	40 – 50	
Počet jasných dnů	150 – 160	

## 3. Specifikace problému

K rekonstrukci VD bylo přistoupeno z několika důvodů. Tyto lze rozdělit na problémy:

- technického rázu,
- přirozeného vývoje v nádrži.

Z technického hlediska byl původní objekt požeráku již nevyhovující. Částečně pro svou konstrukci, kdy jeho vrchní strana nebyla opatřena zábranou ani česlemi a tak byl zanášen listím a dalším organickou hmotou. Z důvodu malé šířky jej nebylo možností efektivně vyčistit. Před rekonstrukcí byl objekt požeráku betonový, otevřená konstrukce, s dvojitou dlužovou stěnou z dřevěných desek. V průběhu provozování VD byl v důsledku místních klimatických podmínek objekt požeráku degradován (zvětrání betonu, bobtnání dluží), viz Obr. 28, str. 66.

Současné byly betonové trouby odpadu, pravděpodobně již při instalaci, špatně uloženy, což způsobilo netěsnost odtoku a jeho další zanášení bahnem, viz Obr. 29, str. 66.

Dalším problémem technického rázu byl fakt, že dřevěná kulatina (hatě) zasypána zeminou, kterou byly opevněny břehy v délce cca 17 m, se uvolnila ze zavázání. V důsledku vyhnívání dřevěné hmoty zde také vznikaly dutiny a propadliny, které mohly způsobovat netěsnost hráze, viz Obr. 30, str. 67. Možným místem vzniku další dutin a preferenčních průsakových cest s ohrožením protržení hráze byl vzdušní líc hráze, kterým prorůstaly stromy, jak je vidět z Obr. 31, str. 67.

Posledním závažným problémem byla nevybavenost VD bezpečnostním přelivem. Při extrémních srážkách při maximální hladině voda přetékala přes nejnižší místo nádrže, u požeráku. To mohlo způsobovat erozi vzdušního svahu hráze, což, v extrémním případě, mohlo vést k rozsáhlé devastaci tělesa hráze, a v konečném důsledku k jeho protržení.

Z důvodu přirozeného vývoje a působením přírodních sil byla nádrž zanášena bahnem, které sedimentovalo na dně nádrže. Vytvořilo tak vrstvu, která dále snižovala objem RN. Její mocnost byla od 0,4 m po 1,5 m u požeráku, v objemu cca 1500 m<sup>3</sup>.

## 4. Principy řešení

Malé vodní nádrže (dále MNV) obecně jsou dominantním krajinným prvkem s určitou funkcí, ať už hospodářskou, či estetickou. Významně se podílejí na kvalitě okolního životního prostředí a ekosystému jako takového. Pro biotickou složku životního prostředí jsou MNV nepostradatelné ze dvou hlavních důvodů: ve spojení s tokem samotným jako významný transportní a zásobní mechanismus, a dále jako životní prostředí pro četné vodní organismy. Kolem břehů MNV se vytvářejí bohatá rostlinná a živočišná společenstva, která svým složením napomáhají rozvoji pestré biodiverzity krajiny.

Z hlediska současných klimatických výkyvů jsou MNV významným prvkem pro zadržení vody v krajině, což pozitivně přispívá nejen k udržení vyrovnaných hydrologických poměrů v krajině, ale i k prevenci před ničivými účinky vody. V neposlední řadě jsou MNV významným zdrojem pitné vody pro období nedostatku.

### 4.1 Definice malé vodní nádrže a související legislativa

#### 4.1.1 Definice malé vodní nádrže

Malou vodní nádrž lze definovat jako hospodářskou nádrž s určitou funkcí, mající menší hloubku, objem a zaujímající menší plochu. Dle normy ČSN 75 2410:2011 je pojem malá vodní nádrž vymezen dvěma body:

- objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru (normální hladinu<sup>1</sup>) není větší než 2 mil. m<sup>3</sup>; (HYDROPROJEKT CZ a.s., 2011 )
- největší hloubka nádrže<sup>2</sup> nepřesahuje 9 m. (HYDROPROJEKT CZ a.s., 2011 )

Ze seznamu dotčených vodních nádrží jsou vyjmuty nádrže přečerpávacích vodních elektráren, odkaliště a nádrže s přítokem a odtokem propustným horninovým prostředím dna a svahu nádrže. Je doporučena pro rekonstrukce historických rybníků, jejichž parametry však překračují podmínky a) a b). Pro nádrže s objemem menším než 5 tis. m<sup>3</sup> se doporučuje normu použít dle místních podmínek. (HYDROPROJEKT CZ a.s., 2011 )

---

<sup>1</sup> Hladina ovladatelného prostoru, u nádrží určených k chovu ryb (rybníků) označovaná jako normální hladina, je hladina v úrovni nejnižší části přelivné hrany nehrazeného přelivu nebo horní hrany uzávěru hrazeného přelivu. Pod touto úrovní lze v nádrži akumulovat vodu a vypouštět ji podle potřeby (s omezením daným kapacitou výpustného zařízení). (HYDROPROJEKT CZ a.s., 2011 )

<sup>2</sup> Tj. svislá vzdálenost nejnižší položeného místa dna nádrže od maximální hladiny; přitom se neuvažují lokální větší hloubky v místě původního koryta, hlavní rybníční stoky apod. (HYDROPROJEKT CZ a.s., 2011 )

#### 4.1.2 Legislativa

Pro navržení a provoz malé vodní nádrže v České republice je nutno dodržovat platné zákony, vyhlášky a nařízení vlády. Dále je vhodné řídit se ustanovnými a doporučeními uvedenými v technických normách a standardech.

##### Zákon č.254/2001 Sb., o vodách

Zákon č.254/2001 Sb., o vodách ve znění pozdějších předpisů a jeho prováděcí vyhlášky jsou v současné době obecně závaznými předpisy upravující nakládání s vodami.

Dle § 1 je „účelem tohoto zákona chránit povrchové a podzemní vody, stanovit podmínky pro hospodárné využívání vodních zdrojů a pro zachování a zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod, vytvořit podmínky pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha a zajistit bezpečnost vodních děl (...)“. (MŽP ČR, 2001)

Pro problematiku malých vodních nádrží je zajímavá hlava VII Vodní díla, která upravuje podmínky pro vzdouvací stavby.

##### Vyhláška č.471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad VD

Jednou z vyhlášek, které se odkazují na Zákon č.254/2001 Sb., o vodách, je Vyhláška č.471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly. Tato vyhláška, mimo jiné, vymezuje VD, která podléhají dohledu, a jejich rozdělení do 4 kategorií dle destruktivních dopadů při havárii hráze.

##### Vyhláška č.194/2002 Sb., o náležitostech manipulačních a provozních řádů VD

Tato vyhláška obsahuje výpis požadovaných údajů, které musí obsahovat manipulační a provozní řád daného VD. Částečně se jedná o obecné informace k VD, které se týkají správy a dohledu nad VD a částečně o technické informace o daném VD.

Nejdůležitější částí manipulačního řádu je popis samotné manipulace na VD za běžných a mimořádných podmínek. Je zde k nalezení popis provedení bezpečnostních opatření.

##### Vyhláška č.590/2002 Sb. o technických požadavcích pro VD

ve znění pozdějších předpisů. Tato prováděcí vyhláška k Zákonu o vodách se týká problematiky VD děl definovaných v § 55 zákona ve vazbě na stavební zákon. Upravuje základní obecné požadavky na VD, které musí být zohledněny při návrhu a výstavbě (mechanická odolnost, ochrana zdraví, požadavky na spodní výpusti, bezpečnostní přeliv atd).



### ČSN 75 2340 Navrhování přehrad – Hlavní parametry a vybavení

Jedná se o základní technickou normu týkající se oboru přehradního stavitelství. Tato norma se týká navrhování jednotlivých konstrukčních prvků přehrad, např. bezpečnostní přeliv, hráze, výpusti, a jejich vybavení.

Ačkoliv se jedná o normu určenou spíše pro budování VD I. a II. kategorie dle vyhlášky č.471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad VD, i MVN mohou spadat do II. kategorie.

### ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží

Tato norma se týká vodohospodářských plánů a řešení nádrží s celkovým prostorem větším než 10 000 m<sup>3</sup>. Další podmínkou plynoucí z této normy je samostatné řízení a ovlivnění průtoků a vodních stavů ve vodním toku.

Zabývá se objemy jednotlivých prostorů nádrže. Jejím cílem je stanovit požadavky na parametry jednotlivých staveb a zařízení přehrady s ohledem na hospodaření s vodou v nádrži, manipulaci s hladinami v nádrži a na ochraně před povodněmi.

### ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže

Stěžejní norma pro problematiku výstavby a provozu malých vodních nádrží. Norma definuje malou vodní nádrž, viz 4.1.1 Definice malé vodní nádrže. Narozdíl od ČSN 75 2340 Navrhování přehrad – Hlavní parametry a vybavení klade nižší požadavky na konstrukci hráze, především pak šířku koruny hráze a její převýšení.

Norma slouží k návrhu nových nádrží. Je doporučeno držet se této normy při rekonstrukci či obnově nádrží stávajících.

### TNV 75 2935 Posuzování bezpečnosti VD při povodních

Tato norma se nevěnuje technickému posouzení MVN, ale především bezpečnostním otázkám provozování VD. Nově zavádí některé pojmy, jmenujme „MBH“ – mezní bezpečnostní hladina<sup>3</sup> a „KMH“ – kontrolní maximální hladina<sup>4</sup>.

### ČSN EN 1997 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí (73 1000)

Tato norma platí pro vyšetřování spolehlivosti zemních konstrukcí hydrotechnických staveb.

---

<sup>3</sup> MBH – hladina v nádrži, při jejímž překročení začíná být aktuální nebezpečí havárie VD.

<sup>4</sup> KMH – maximální dosažená úroveň hladiny vody v nádrži při posuzování kontrolní povodňové vlny.

## 4.2 Rozdělení a funkce malých vodních nádrží

MVN mohou být rozděleny dle několika kritérií. Nádrže se pak mohou dělit z hlediska krajinně ekologického, provozně funkčního, dle společenského významu a dopadu na životní prostředí v případě havárie, podle tvaru, uspořádání atd. Mimo hlavní kritéria lze kategorie dále dělit na menší celky, např. nádrže rybochovné lze dále rozdělit dle druhu chovaných ryb, jejich polohy atd.

### 4.2.1 Rozdělení dle účelu vodní nádrže

MVN se dělí dle účelu použití, za kterým byly vybudovány. Většinou plní svou primární funkci, k tomu pak další dílčí funkce vedlejší. Toto dělení může být charakterizováno jako provozně funkční dělení. Základní dělení MVN podle jejich účelu shrnuje tabulka 5 podle (Hanák, 2008).

**Tab. 5:** Rozdělení malých vodních nádrží podle účelu vodní nádrže

I. Zásobní nádrže se zásobním prostorem	VI. Ochranné (retenční) nádrže
II. Stabilizační nádrže	VII. Rybochovné nádrže
III. Hospodářské nádrže	VIII. Speciální účelové nádrže
IV. Asanační nádrže	IX. Rekreační nádrže
V. Nádrže krajinnotvorné v obytné zástavbě	X. Nádrže na ochranu biotopů

- I. Zásobní nádrže se zásobním prostorem – slouží vodárenským účelům ve smyslu zadržení vody v krajině, ať pro vodu pitnou, či užitkovou, nebo pro pohon strojního zařízení pil, vodních elektráren atd.
- II. Stabilizační nádrže – fungují jako technické nádrže, např. v procesu čištění odpadních vod jako stabilizační nádrže, nebo nádrže usazovací.
- III. Hospodářské nádrže – mohou být užity jako zásobní nádrže pro rostlinnou či živočišnou výrobu, popřípadě jako napájecí a plavící nádrže.
- IV. Asanační nádrže – jsou budovány za účelem např. skladování průmyslových odpadních vod, k zachycení ekologické zátěže ve vodním prostředí.
- V. Nádrže krajinnotvorné v obytné zástavbě – fungují jako zjemňující prvek estetického rázu, nebo jako prvek upravující klimatické podmínky ve vybrané lokalitě.
- VI. Ochranné (retenční) nádrže – zachycují přívalové vlny při povodni a její bezpečný převod povodím, popřípadě jako nádrž vybudovaná jako ochrana proti erozním účinkům vody.

- VII. Rybochovné nádrže – tzv. rybníky. Fungují jako prostředí pro chov ryb. Dále mohou být děleny jako rybníky výtěrové a třecí, plůtkové nebo komorové výtažníky atd.
- VIII. Speciální účelové nádrže – jsou budovány pro speciální účely dané charakterem použití, jmenovitě mohou to mohou být nádrže přečerpávací, recirkulační, vyrovnávací atd.
- IX. Rekreační nádrže – jsou budovány za účelem odpočinku občanské společnosti v rámci občanské vybavenosti dané lokality.
- X. Nádrže na ochranu biotopů – jsou budovány za účelem zachování biodiverzity v krajině, typicky jsou to pak nádrže mokřadního typu, rašeliniště apod.

#### 4.2.2 Rozdělení dle způsobu napájení nádrže vodou

MVN se rozdělují dle způsobu napájení nádrže vodou. Rozlišujeme tři druhy nádrží:

- I. nádrže dešťové, neboli také nádrže nebeské, jsou nádrže bez stálého přítoku vody. Jsou zásobovány vodou z atmosférických srážek, nebo táním sněhové pokrývky;
- II. nádrže pramenné jsou zásobovány převážně vývěry vody ze dna nádrže, popřípadě z břehových svahů. U tohoto typu nádrží je možná kombinace plnění také ze srážek nebo z tání sněhu;
- III. nádrže říční nebo potoční jsou plněny vodou z řek a potoků.

#### 4.2.3 Rozdělení z hlediska technického řešení nádrže

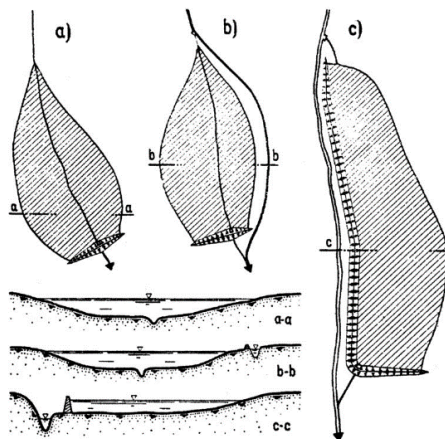
Z hlediska technického řešení se nádrže dělí na základě tvaru údolí, funkce a účelu nádrže.

- I. Nádrže s čelní hrází – hráz je umístěna kolmo ke korytu toku. Výhodou při stavbě nádrže s čelní hrází je nižší spotřeba materiálu na stavbu dána především malou délkou hráze.
- II. Obtokové nádrže – hráz je umístěna kolmo ke korytu toku, ale podél nádrže je vedeno odlehčovací koryto. Do této kategorie spadají i nádrže boční.
- III. Obvodové – tyto nádrže jsou tvořeny bočními hrázemi po celém svém obvodu.
- IV. Dělicí.

Z hlediska přítoku vody se nádrže dělí na nádrže průtočné, pro které je charakteristické zřízení přímo na toku, nebo nádrže neprůtočné (obtokové, boční), které jsou odlehčeny obtokovým kanálem.

- I. Nádrže průtočné – vodní tok vtéká přímo do nádrže, protéká ji a pod hrází nádrže vytéká svým původním korytem. Tyto nádrže musí být vybaveny bezpečnostním přelivem.
- II. Obtokové nádrže – pro tyto nádrže je charakteristické, že napájecí tok je veden přímo do nádrže, ale současně je kolem nádrže veden obtokový kanál, který plní funkci odlehčovací. Obtokové koryto nádrže pak zaústí zpět do původního koryta.
- III. Boční nádrže – neboli náhonové, jsou odděleny od koryta toku boční hrází. Jsou s ním však spojeny napájecím kanálem, jehož průtok je regulovatelný. Výhodou bočních nádrží je, že nemusejí nutně ležet v místě toku, ale např. ve vedlejším údolí

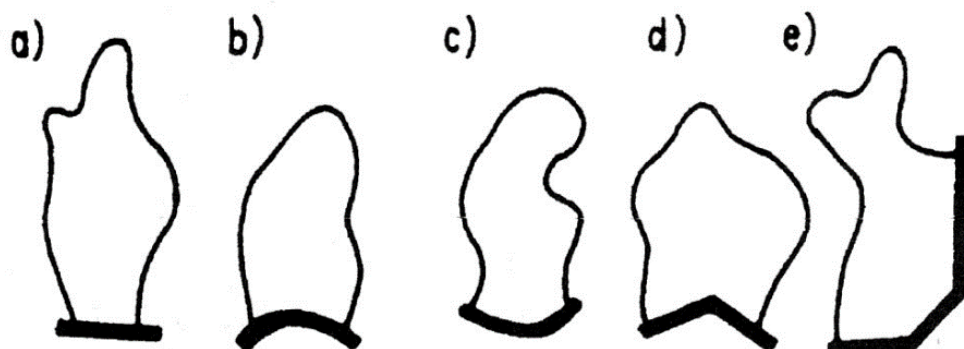
Rozdělení nádrží podle přítoku vody ilustruje obrázek 1.



**Obr. 1:** Rozdělení MVN podle přítoku vody: a) průtočné, a neprůtočné b) obtokové, c) boční (Václavík, 2007)

Hráze lze dělit také podle půdorysného tvaru hráze. V takovém případě se hráze dělí do tří základních kategorií. Situaci vykresluje obrázek 2.

- I. Hráze přímé.
- II. Hráze zakřivené.
- III. Hráze lomené.



**Obr. 2:** Půdorysný tvar hráze a) čelní přímá, b) čelní vypouklá, c) čelní vydutá, d) čelní lomená, e) nepravidelná (Václavík, 2007)

### 4.3 Současné problémy malých vodních nádrží

V současné době se potýkají vodohospodáři v oblasti malých vodních nádrží s několika druhy problémů. Tyto problémy pramení především z dlouhodobého nezájmu o údržbu, nízkou míru investic do obnovy děl, celkově pak s nedostatečným financováním oblasti vodního hospodářství.

Tyto problémy lze rozdělit do následujících skupin:

- problémy vodohospodářské,
- problémy technického rázu,
- problémy ekologické,
- problémy ekonomické,
- problémy majetkoprávní,
- problémy legislativní.

#### 4.3.1 Problémy vodohospodářské

Mezi hlavní vodohospodářské problémy patří erozivní procesy v povodí VD a související problém zanášení nádrže sedimenty.

Při erozivním procesu dochází k odnosu půdních částic z povodí a k jejich transportu tokem. V prostoru, kde se snižuje průtočná rychlost toku, tj. v nádrži, nad jezem atd., dochází k sedimentaci těchto látek do prostoru nádrže.

Proces eroze je způsoben několika faktory. Z minulosti se jedná o rozorání mezí polností za účelem zcelení hospodářské plochy. Při této snaze zjednodušení způsobu obdělávání půdy se odstranily přirozené bariéry, které bránily odnosu půdních částic pryč z území. Podobně problematickou oblastí je intenzifikace zemědělství, kdy se

na velkých plochách pěstují plodiny, které usnadňují odnos půdních částic. Tyto plodiny můžeme charakterizovat jako erozně náchylné. Řadíme mezi ně plodiny úzkořádkové a širokořádkové<sup>5</sup>. Mezi další faktory, které nepříznivě ovlivňují působení erozních procesů můžeme řadit nadužívání průmyslově vyráběných hnojiv nebo nevhodné nástroje pro obdělávání půdy - pokud je narušena orniční vrstva nevhodným způsobem, ornice bude snadno podléhat vodní erozi (Brammer, 1976), atd. Mezi negativní dopady erozivních procesů řadíme:

- zvýšený obsah organických rozpuštěných látek (fosfor, dusík), které za určitých podmínek mají přímý dopad na proces eutrofizace vodní nádrže. Zde řadíme i riziko obsahu pesticidů a toxických látek, které naopak mohou vést k inhibici životních procesů vodních a rostlinných organismů;
- částice, které se účastní vlastního procesu eroze sedimentují na dně nádrže, čímž zmenšují její využitelný prostor;
- sedimentované částice mohou snižovat provozuschopnost VH objektů na VD.

#### 4.3.2 Problémy technického rázu

Problémy technického rázu souvisejí především se stářím VD, údržbou a investicemi do obnovy dotčeného VD. Nejčastější závady na malých vodních nádržích dle firmy Hydroprojekt – TBD a.s. shrnuje Tab. 6.

**Tab. 6:** Nejčastější závady na malých vodních nádržích (vzorek cca 500 nádrží) (Dvorský, 2008)

Pořadí dle četnosti	Charakteristika závady	Výskyt u nádrží [%]
1	Špatný stav výpustního zařízení	39
2	Neudržovaná vegetace	35
3	Zamokření podhrází	34
4	Nevyrovnaná koruna hráze	30
5	Špatný stav přelivu	26
6	Deformace povrchu hráze	25
7	Porušení opevnění hráze	24
8	Kaverny v tělese hráze, vývěry vody, omezená průjezdnost	12

<sup>5</sup> Rostliny se pěstují v jednotlivých řádcích, s mezerou mezi řádky. Dle velikosti mezery mezi jednotlivými řádky se rozlišují plodiny na úzkořádkové plodiny, např. obiloviny, řepka a širokořádkové plodiny, např. kukuřice, řepa, brambory.

#### 4.3.3 Ekologické problémy

Ekologické problémy částečně souvisejí s problémy vodohospodářskými. Jedná se především o problémy související s

- kvalitou vody, která závisí na plošných a bodových zdrojích znečištění v okolí vodní nádrže, např. hnojení přilehlých polností, deponie (atmosférické, nebo odpadu), sídla atd.,
- kvalitou sedimentů vůči jejich dalšímu použití (toxicita, obsah těžkých kovů) či zneškodnění.

Nesouvisející ekologické problémy jsou pak problémy ochrany fauny a flóry a ochrana životního prostředí jako celku.

#### 4.3.4 Ekonomické problémy

Malé vodní nádrže by v žádném případě neměly sloužit pouze ke komerčním účelům s cílem generovat co nejvyšší zisk. Tohoto stavu je možno dosáhnout jen za předpokladu finanční podpory státu, ať už financováním plným, nebo částečným. V současné době se stát prostřednictvím svých společností (podniky povodí, Lesy ČR) podílí nejen na investičních nákladech, ale i na provozních nákladech malých vodních nádrží. I tento fakt ale vede k situaci, kdy vybraná vodní díla jsou podfinancována z hlediska údržby i provozu a tudíž se problémy spojené s prozem VD mohou dále prohlubovat.

Mezi lety 1971 a 1991 bylo financování zajištěno ze Státního fondu pro zúrodnění půdy. Mezi hlavní zdroje financí fondu byly odvody za zábory zemědělské půdy a dotace ze státního rozpočtu. Po roce 1991 byly finanční zůstatky z tohoto fondu převedeny do Státního fondu životního prostředí, avšak již nebyly dále využity na údržbu, obnovu a další investiční akce spojené s provozem vodních děl.

Drobné zlepšení přišlo po přijetí krajinotvorných dotačních programů Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zemědělství.

Po vstupu České republiky do Evropské unie je možné čerpat finanční prostředky z fondů OPŽP, prioritní osa 1 „Dotace pro vodohospodářskou infrastrukturu a snižování rizika povodní – oblast 1.3 Omezování rizika povodní“ a prioritní osa 6 „Dotace pro zlepšování stavu přírody a krajiny – oblast 6.4 Optimalizace vodního režimu krajiny“. V určitých případech tento operační program hradí až 90% z celkových nákladů na projekt, které jsou však podmíněny veřejným spolufinancováním. Čerpání evropských fondů koordinuje Ministerstvo pro místní rozvoj, řídicím orgánem je Ministerstvo životního prostředí a zprostředkující subjekt Státní fond životního prostředí. (Státní fond životního prostředí, Giant interactive, s.r.o., 2015)

#### 4.4 Výběr místa nádrže

Pro samotnou výstavbu malé vodní nádrže je výběr místa klíčovým rozhodnutím celé investiční akce.

Z hlediska konstrukce samotné nádrže můžeme přistupovat dvěma způsoby. Nádrž může být buď hloubená, nebo hrazená.

Pro hloubenou nádrž je výběr místa jednodušší, protože takováto nádrž může být vyhloubena kdekoliv, kde to umožňují geomorfologické podmínky území. Nádrž je pak tvořena uměle vyhloubeným dnem a uměle vytvořenými stěnami.

Naproti tomu nádrže hrazené (hrázového typu) jsou tvořeny nově vybudovanou hrází, dnem nádrže je pak původní terén a stěnami jeho původní svahy. V případě kombinace zmíněných typů je možno přistoupit i k prohloubení hrázové nádrže dle potřeb.

Samotný výběr místa pro nádrž se řídí podle několika hlavních kritérií:

- tvar nádržní pánve,
- požadovaný účel a funkce nádrže,
- hydrologické a hydrgeologické podmínky,
- vhodnost napájecího vodního zdroje,
- posouzení vlivu na životní prostředí.

K vedlejším kritériím pro stavbu nádrže se řadí:

- vlastnické poměry na dotčených pozemcích,
- zemědělsko výrobní poměry,
- kvalita půdy v zátopové oblasti,
- a jiné.

Z hlediska ekonomické výhodnosti stavby je snahou umístit hráz v nejužším místě údolí tak, aby množství akumulované vody v nádrži byl co největší při co nejmenší velikosti hráze. Tato závislost se početně vyjadřuje hodnotou tzv. absolutního objemového ukazatele  $\eta$ , pro který platí

$$\eta = \frac{V_z}{V_h} \quad (1)$$

kde  $V_z$  je objem akumulačního prostoru nádrže [ $\text{m}^3$ ] a  $V_h$  je objem tělesa hráze [ $\text{m}^3$ ].

K posouzení vhodnosti zvolených profilů z hlediska morfologických vlastností nádržní pánve slouží tzv. relativní objemový ukazatel  $\eta_r$



$$\eta_r = \frac{A}{I_n} \quad (2)$$

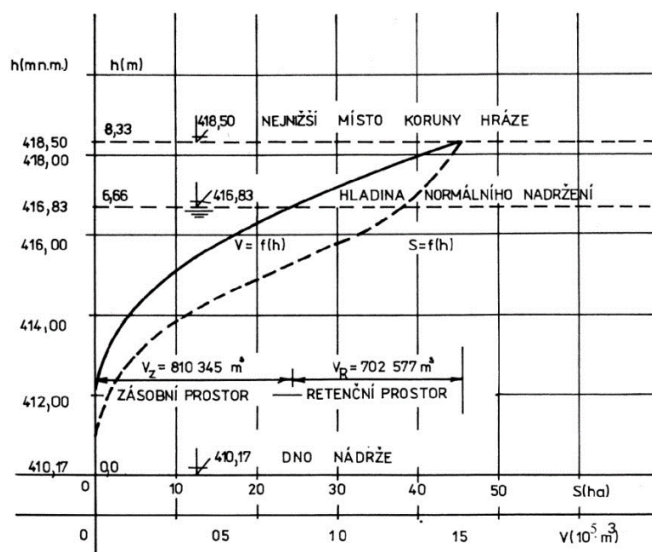
kde  $A$  je míra zúžení [%] a  $I_n$  je podélný sklon údolnice nádržní pánve [%].

Ve vztahu MVN k okolnímu životnímu prostředí je třeba věnovat náležitou pozornost následujícím ekologickým aspektům:

- stanovení vztahů mezi okolním prostředím a samotnou nádrží,
- zhodnocení stávajících podmínek na stanovišti a jejich předpokládáné změně po vybudování nádrže,
- začlenění nového celku do krajiny a posouzení vhodného druhu doprovodné vegetace,
- posouzení možného nepříznivého vlivu nádrže na okolní životní prostředí.

#### 4.4.1 Charakteristiky nádrže

Nádrže charakterizují tzv. batigrafické křivky neboli charakteristické čáry. Tato dvojice čar vystihuje tvar a velikost útvaru tvořeného hrází, boky a dnem nádrže.



**Obr. 3:** Batigrafické křivky nádrže (charakteristické čáry)

Prvá křivka,  $S = f(h)$ , vyjadřuje závislost zatopené plochy na hloubce nadržení vody, měřeno od nejnižšího místa nádrže. Druhá křivka,  $V = f(h)$ , pak vyjadřuje závislost objemu vody v nádrži na její hloubce.

Ze zaměřených ploch, které odpovídají jednotlivým vrstevnicím a tedy jednotlivým hloubkám, lze vypočítat objem vody mezi jednotlivými vrstevnicemi.

Součtem jednotlivých vrstev pak objem vody v nádrži<sup>6</sup>. Početně je tento vztah možno vyjádřit jako

$$V_i = 0,5 (S_i + S_{i+1}) \cdot \Delta h \quad (3)$$

kde  $V_i$  je dílčí objem mezi dvěma sousedními vrstevnicemi [ $\text{m}^3$ ],

$S_i$  a  $S_{i+1}$  jsou plochy omezené vrstevnicemi  $i$  a  $i+1$  [ $\text{m}^2$ ],

$\Delta h$  je výškový rozdíl mezi vrstevnicemi o kótách  $i$  a  $i+1$  [ $\text{m}$ ].

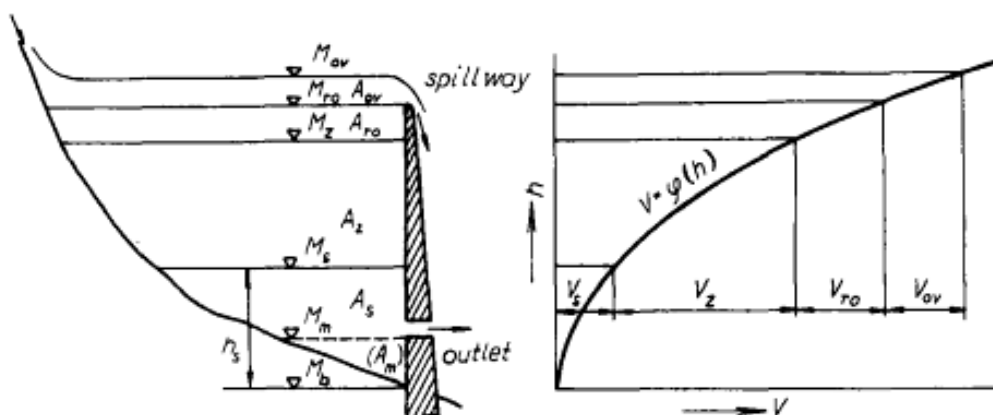
Výpočtem dostaneme tabulku hodnot, kdž po jejich vynesení do grafu získáme batigrafické čáry. Na svislé ose je uvedena výška  $h$ , na ose vodorovné objem  $V$  a plocha  $S$ .

**Tab. 7:** Charakteristické čáry nádrže

Kóta hladiny (m n.m.)	Odlehlost vrstevnic (m)	Plocha hladiny		Objem vody	
		$S$ ( $\text{m}^2$ )	$S_s$ ( $\text{m}^2$ )	$V$ ( $\text{m}^3$ )	$\Sigma V$ ( $\text{m}^3$ )
410,17		0			0
411,00	0,83	290	145	120	120
412,00	1,00	13 870	7 080	7 080	7 200
413,00	1,00	52 570	33 220	33 220	40 420
414,00	1,00	99 970	76 270	76 270	116 690
415,00	1,00	200 440	150 205	150 205	266 895
416,00	1,00	307 320	253 880	253 880	520 775
416,83	0,83	390 440	348 880	289 570	810 345
417,00	0,17	397 460	393 950	66 972	877 317
418,00	1,00	432 500	414 980	414 980	1 292 297
418,50	0,50	450 000	441 250	220 625	1 512 922

Součástí charakteristiky nádrží je vertikální členění nádrže na jednotlivé prostory. Jedná se o prostor stálý –  $V_m/A_m$ , zálohový –  $V_z/A_z$  a ochranný –  $V_r/A_r$  (Hanák, 2008). Jednotlivé objemy nádrže po sečtení ukazují výsledný celkový objem nádrže.

<sup>6</sup> Dle potřeby lze dopočítat objem vody pro jednotlivé prostory nadržení po určenou kótu – mrtvý prostor, zásobní prostor, retenční prostor, objem vody při maximální hladině atd.



**Obr. 4:** Členění prostor nádrže (Votruba, a další, 1989)

Podle obrázku můžeme rozdělit jednotlivé prostory nádrže do tabulky:

**Tab. 8:** Názvy a značky pro prostory, objemy a hladiny v nádrži

Názvy pro prostory v nádrži a značky pro jejich objemy [cz/en]		Názvy a značky pro hladiny v nádrži	
Celkový prostor	$V_c/A_c$	Maximální hladina	$M_{max}$
Mrtvý prostor nevypustitelný	$V_m/A_m$	Hladina mrtvého prostoru	$M_m$
Prostor stálého nadržení	$V_s/A_s$	Hladina stálého nadržení	$M_s$
Zásobní prostor	$V_z/A_z$	Hladina zásobního prostoru	$M_z$
Ochranný prostor	$V_r/A_r$	Hladina ovladatelného prostoru	$M_o$
Ovladatelný prostor	$V_o/A_o$	Hladina ovladatelného retenčního prostoru	$M_{or}$
Neovladatelný prostor	$V_n/A_n$		
Ovladatelný ochranný prostor	$V_{ro}/A_{ro}$	Hladina neovladatelného retenčního prostoru	$M_{rn}$
Neovladatelný ochranný prostor	$V_{rn}/A_{rn}$		

#### 4.5 Technické řešení malých vodních nádrží

Technické řešení malých vodních nádrží a je členěno do několika souvisejících logických celků. Řeší se především

- návrh hráze a funkčních objektů,
- návrh úprav v prostoru a okolí nádrže,
- návrh úprav toku v a pod nádrží.

Nejdůležitějším a nejkritičtějším prvkem malé vodní nádrže hrázového typu je vždy hráz. Je nejnáročnějším prvkem celé stavby a proto je také nejdražší položkou investiční akce. Z těchto důvodů je při návrhu hráze vždy nutné pečlivě zvážit

- umístění osy hráze,
- vhodnost materiálu pro její stavbu,
- způsob založení hráze,
- posouzení tvaru hráze,
- průsak a následné odvedení průsakových vod,
- ochranu návodního a vzdušního svahu hráze.

Mezi funkční objekty MVN se obvykle řadí všechny druhy výpustných zařízení a zařízení sloužící k převedení povodňových průtoků povodím hráze. U účelových nádrží se jedná o speciální objekty sloužící konstrukčnímu účelu dané nádrže.

Funkční dělení hráze bylo popsáno v kapitole 4.2.3 Rozdělení z hlediska technického řešení nádrže.

Následující text bude rozdělen do logických celků hráz, výpustná zařízení a bezpečnostní přeliv.

#### 4.5.1 Materiál pro stavbu hrází

S přihlédnutím k faktu, že hráz je stěžejním a kritickým prvkem, je i výběr materiálu pro stavbu hráze neméně důležitou činností. Na základě dobrého inženýrsko-geologického průzkumu investor vybírá vhodný materiál ke stavbě hráze. Tento průzkum se zabývá nejen určením vhodného materiálu ke stavbě hráze, ale i nalezením vhodných těžebních lokalit poblíž zájmového místa, určením fyzikálně-mechanických vlastností zemin, jejich objemů a možností těžby.

Pro ekonomickou efektivnost stavby hráze je výhodné, pokud je možné těžit materiál na stavbu hráze přímo v lokalitě, nejlépe v zátopě. Výhodou takového postupu je pak fakt, že těžbou v zátopě se zvětší samotný prostor nádrže.

Materiál, použitý pro stavbu hráze, se dělí na materiály jemné frakce s velikostí zrn do 0,0063 mm, písek s velikostí zrna 0,0063 až 4 mm, štěrk s velikostí zrna od 4 do 63 mm. Mezi větší stavební útvary se pak řadí hrubozrný štěrk, kameny a balvany.

Zatřídění zemin pro stavbu tělesa hráze řeší norma ČSN 75 2410.

Tab. 9: Zatřídění zemin – písek

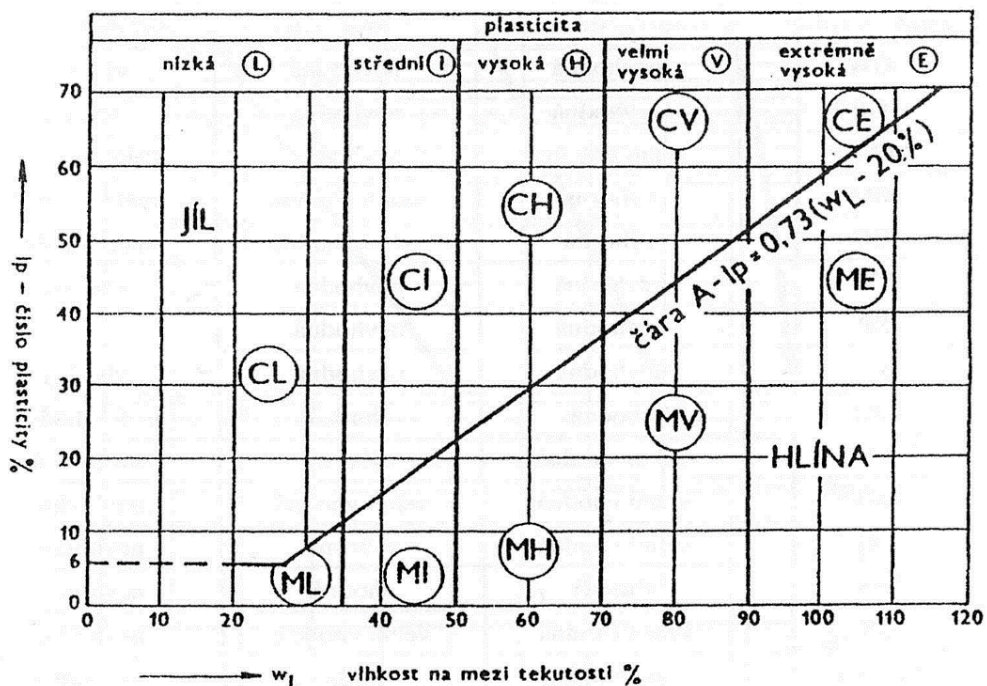
Název zeminy	Symbol	Třída	Kvalitativní znaky			
			Obsah jemnozrnné frakce (<0,06 mm) v %	C <sub>u</sub>	C <sub>c</sub>	Diagram plasticity
Písek dobře zrněný	SW	S1	<5	>6	1 až 3	-
Písek špatně zrněný	SP	S2	<5	<6	<1 nebo >3	-
Písek s příměsí jemnozrnné zeminy	S-F	S3	5 až 15	-	-	-
Písek hlinitý	SM	S4	15 až 35	-	-	pod čarou A
Písek jílovitý	SC	S5	15 až 35	-	-	nad čarou A

Tab. 10: Zatřídění zemin – štěrk

Název zeminy	Symbol	Třída	Kvalitativní znaky			
			Obsah jemnozrnné frakce (<0,06 mm) v %	C <sub>u</sub>	C <sub>c</sub>	Diagram plasticity
Štěrk dobře zrněný	GW	G1	<5	>4	1 až 3	-
Štěrk špatně zrněný	GP	G2	<5	<4	<1 nebo >3	-
Štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy	G-F	G3	5 až 15	-	-	-
Štěrk hlinitý	GM	G4	15 až 35	-	-	pod čarou A
Štěrk jílovitý	GC	G5	15 až 35	-	-	nad čarou A

Tab. 11: Zatřídění zemin - jemnozrnné zeminy

Název zeminy	Symbol	Třída	Obsah jemnozrnné frakce (<0,06 mm) v %	Poměr šterkové (g) a písčité (s) frakce	Diagram plasticity (čára A)	w <sub>L</sub> v %
Hlína šterkovitá	MG	F1	35 až 65	g>s	pod A	-
Jíl šterkovitý	CG	F2	35 až 65	g>s	nad A	-
Hlína písčitá	MS	F3	35 až 65	s>g	pod A	-
Jíl písčitý	CS	F4	35 až 65	s>g	nad A	-
Hlína s nízkou plasticitou	ML	F5	>65	-	pod A	<35
Hlína se střední plasticitou	MI	F5	>65	-	pod A	35 až 50
Jíl s nízkou plasticitou	CL	F6	>65	-	nad A	<35
Jíl se střední plasticitou	CI	F6	>65	-	nad A	35 až 50
Hlína s vysokou plasticitou	MH	F7	>65	-	pod A	50 až 70
Hlína s velmi vysokou plasticitou	MV	F7	>65	-	pod A	70 až 90
Hlína s extrémně vysokou plasticitou	ME	F7	>65	-	pod A	>90
Jíl s vysokou plasticitou	CH	F8	>65	-	nad A	50 až 70
Jíl s velmi vysokou plasticitou	CV	F8	>65	-	nad A	70 až 90
Jíl s extrémně vysokou plasticitou	CE	F8	>65	-	nad A	>90



Obr. 5: Diagram plasticity zemín pro částice menší než 0,5 mm, L – nízká, I – střední, H – vysoká, V – velmi vysoká, E – extrémně vysoká (Hanák, 2008)

Index plasticity,  $I_p$ , zemín je důležitým indikátorem pro vhodné určení stavebního materiálu pro těleso hráze. Ukazuje rozsah mezí vlhkosti, ve kterých se zemina stává plastickou. Např. při vysokých vlhkostech se jílovitá zemina stává kašovitou až tekutou, tedy nevhodnou pro stavbu návodního svahu hráze.

Zeminy užívané k výstavbě těsnících prvků hráze (těsnící prvek a těsnící koberec) musí splňovat vybrané technické podmínky:

- obsah organických látek nesmí být větší než 5%,
- velikost největších zrn nepřesahuje 100 mm,
- index plasticity,  $I_p$ , u zemín ML, CI a MS je větší než 8%.

Dále platí, že po zhutnění musejí být zeminy a další stavební materiály pro těleso hráze propustné a odolné proti objemovým změnám.

Hráze malých vodních nádrží jsou tvořeny výlučně jako sypané zemní hráze. Z hlediska použitého materiálu pro stavbu hráze se rozdělují hráze na homogenní a nehomogenní s těsnícím prvkem. Vhodnost jednotlivých zemín pro stavbu homogenních a nehomogenních hrází shrnuje tabulka 12.

**Tab. 12:** *Vhodnost zemin pro různé zóny zhutnění*

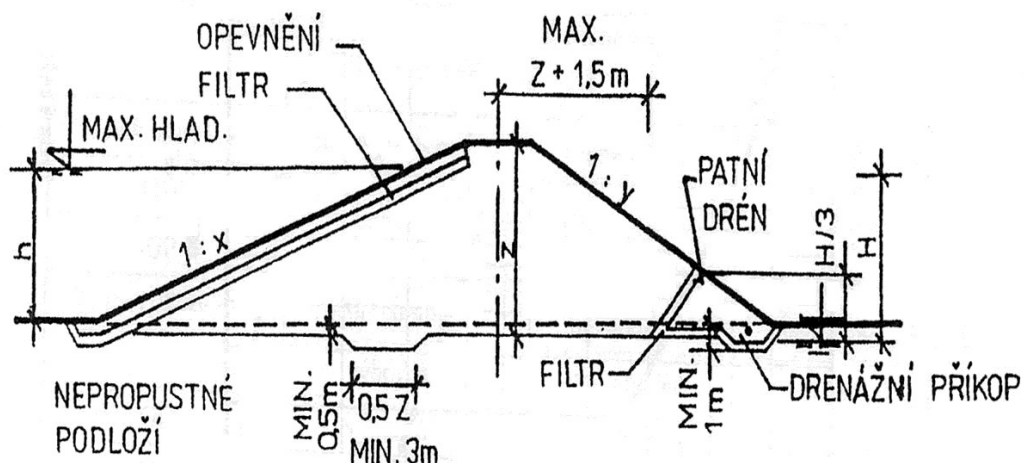
<b>Znak skupiny</b>	<b>Homogenní hráz</b>	<b>Těsnicí část</b>	<b>Stabilizační část</b>
GW	nevhodná	nevhodná	výborná
GP	nevhodná	nevhodná	výborná
G-F	málo vhodná	nevhodná	velmi vhodná
GM	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
GC	výborná	velmi vhodná	málo vhodná
SW	nevhodná	nevhodná	vhodná
SP	nevhodná	nevhodná	vhodná
S-F	nevhodná	nevhodná	vhodná
SM	vhodná	vhodná	málo vhodná
SC	velmi vhodná	výborná	nevhodná
MG	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
CG	velmi vhodná	výborná	nevhodná
MS	vhodná	vhodná	nevhodná
CS	velmi vhodná	velmi vhodná	nevhodná
ML-MI	málo vhodná	vhodná	nevhodná
CL-CI	vhodná	velmi vhodná	nevhodná
MI-ME	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná
CH-CE	málo vhodná	málo vhodná	nevhodná

#### 4.5.2 Homogenní hráz

Homogenní hráz se dá označit jako jednodruhová hráz, neboť těleso hráze je nasypáno z jednoho druhu materiálu. Na takovou zeminu jsou kladeny nároky na dostatečnou nepropustnost a stálost. V žádném případě pak tato zemina nesmí obsahovat stromová rezidua, jako jsou pařezy, větve atd., protože tato by mohla vytvořit preferenční cesty pro průsak vody tělesem hráze. Současně je kladen požadavek na obsah organických látek, které by v krajním případě mohly po interakci s vodou působit jako devastující látky pro betonové prvky příslušenství hráze.

Pro stavbu homogenní hráze je vhodné použít jílovité-písčité zeminy s obsahem 50 – 70% písku. Naopak, nepropustné jílové zeminy jsou nevhodné, a to proto, že tyto zeminy se při zvlhčení a vysychání mění. Při navlhnutí se z nich stává kašovitá hmota, zvětšují svůj objem, naproti tomu po vysušení se smršťují, praskají a jsou náchylné na promrzání. (Vrána, et al., 1998)

Schéma homogenní hráze na nepropustném podloží je vidět na následujícím obrázku.

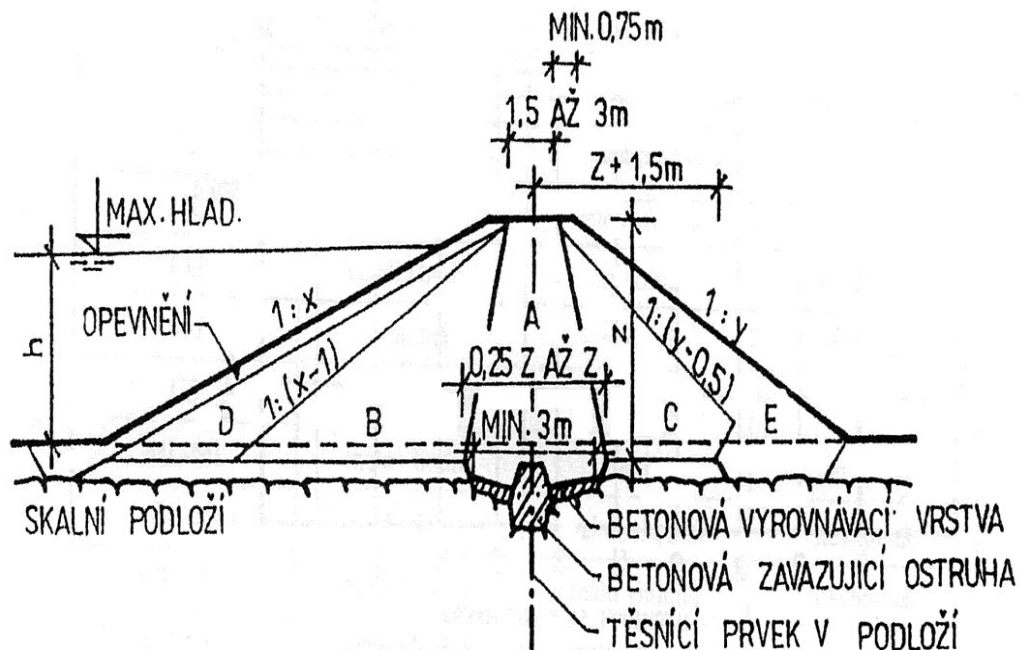


**Obr. 6:** Schéma homogenní hráze na nepropustném podloží (Václavík, 2007)

#### 4.5.3 Nehomogenní hráz

Nehomogenní hráz, neboli nestejnorodá, zonální, je složena ze dvou a více druhů zemín. Tyto zeminy se ukládají do tělesa hráze odděleně, do zón. Na obrázku níže můžeme popsat jednotlivé zóny následovně: zóna A tvoří těsnění hráze, zóny B a C jsou přechodové zóny stabilizační, zóny D a E jsou propustné zóny stabilizační.





**Obr. 7:** Schéma nehomogenní hráze na propustném podloží (Václavík, 2007)

Těsnící prvek hráze se navrhuje nejčastěji z nepropustné zeminy, popřípadě z betonu, ŽB, nebo asfaltobetonu. Podle umístění těsnícího prvku v hrázi rozlišujeme hráze s těsněním vnitřním, neboli jádrovým těsněním, a hráze s těsněním návodním. Šířka těsnícího jádra je rovna hodnotě  $0,25Z$ , kde  $Z$  je výška hráze, nejméně však 1,5 m. (Hanák, 2008)

#### 4.5.4 Příčný profil hráze

Hráze MVN se v příčném profilu navrhují jako lichoběžníky. Musí splňovat některé podmínky dle normy ČSN 75 2410 a to podmínky:

- filtrační stability hráze a jejího podloží s bezpečným a kontrolovatelným odvedením průsakové vody,
- statické a deformační stability jednotlivých částí hráze i celku,
- požadované vodotěsnosti hráze,
- bezpečnosti proti přelití a porušení hráze,
- životnosti vodního díla.

Při návrhu hráze je třeba věnovat pozornost následujícímu:

- založení hráze,
- šířce a převýšení koruny hráze,
- návrh těsnícího prvku hráze,

- sklonu svahů hráze,
- návrhu patního drénu,
- opevnění návodního svahu hráze,
- opevnění vzdušního svahu hráze,
- úprava dna nádrže.

Jednotlivé aspekty návrhu příčného profilu hráze jsou rozebrány níže.

#### Založení hráze

Vzhledem k možným průsakům vody pod tělesem hráze je nutno věnovat zvýšenou pozornost založení hráze. Právě díky průsakům vody by mohlo docházet k vyplavování zeminy a tím pádem i k tvorbě preferenčních cest pro vodu. Takto narušené podloží by v budoucnosti mohlo mít za následek destrukci samotného tělesa hráze. Hloubka založení hráze se řídí geologickým průzkumem v lokalitě.

Po odstranění keřů, stromů, orníční vrstvy atd. z místa základové spáry je třeba tuto lokalitu urovnat, upravit a zhutnit stejným způsobem, jako budou hutněny vyšší vrstvy tělesa hráze. Vyjímky jsou možné. Pokud není možné některá místa dostatečně zhutnit, vyplní se tato jiným materiálem, zpravidla však betonem.

Pro odvedení průsakových vod z místa založení hráze je nutné vybudovat drenážní systém. Tento krok se děje ještě před vlastním sypáním hráze.

Před začátkem stavby patního drénu je třeba základovou spáru zvlhčit, ale tak, aby zde nevznikala místa se stojící vodou. Tohoto je třeba zejména pro dobré spojení sypaných vrstev s podložím a zabránění vzniku průsakových cest. (Václavík, 2007)

Samotné sypání hráze by mělo postupovat po vrstvách maximálně 0,2 m před zhutněním. Jednotlivé vrstvy se na sebe navážejí po zhutnění a urovnání vrstvy předchozí. Sypání hráze se neprovádí za nepříznivých meteorologických podmínek, jako déšť, sníh a mráz

#### Šířka a převýšení koruny hráze

Šířka koruny hráze, po které vede komunikace, se navrhuje dle návrhových parametrů této komunikace. Za předpokladu, že po hrázi vede komunikace s volným provozem, navrhuje se šířka hráze na šířku komunikace. Je-li však komunikace určena pouze pro obslužný provoz hráze, navrhuje se komunikace na šířku minimálně 3,5 m. Při vyloučení veškerého provozu na hrázi, navrhuje se šíře hráze v závislosti na posouzení stability hráze. Pro hráze, jejichž výška přesahuje 5 m, se doporučuje šířka hráze v koruně minimálně 3 m.

Ke zpevnění koruny hráze se používá makadam, štět, asphalt. V případě asfaltových ploch je nutno navrhnout sklon této plochy 2 – 3% směrem ke vzdušnému svahu hráze.

Po obou stranách vozovky v koruně hráze se navrhují svodidla, zábradlí a další bezpečnostní prvky. Je-li to nutné, opatří se koruna na návodní straně vlnolamem.

Převýšení koruny hráze nad hladinu zásobního prostoru by mělo být 0,6 m u zemědělských nádrží, u městských nádrží 1 m. (Julien, 2002)

Převýšení koruny hráze nad maximální hladinu při návrhovém průtoku  $Q_{100}$  se posuzuje na základě následujících okolností (Dvorský, 2008):

- vlivu větrových vln,
- typu a konstrukčního řešení hráze hlediska odolnosti proti přelití,
- konstrukčního řešení a umístění těsnicího prvku hráze,
- předpokládaného sedání tělesa hráze a podloží.

#### Návrh těsnicího prvku hráze

Doporučená šířka těsnicího prvku je  $0,25Z$ , kde  $Z$  je výška hráze. Nejmenší šířka těsnicího prvku by neměla být menší než 1,5 m. Za předpokladu, že těsnící prvek tvoří část zavazovací ostruhy, měl by tento prvek být zavázán až do neporušených nepropustných vrstev pod tělesem hráze, minimálně však 0,5 m hluboko.

Za těsnící prvek se kromě jádrového těsnění považuje i těsnící koberec. Tloušťka tohoto předloženého návodního koberce by neměla být menší než 0,1 hloubky nádrže, minimálně však 0,6 m.

V případě použití těsnění z umělých materiálů (plastové folie z PVC, PE, asfaltobeton), zavazují se tyto do podloží jiným těsnícím prvkem, zpravidla betonem. Takovýto těsnící prvek je pak do betonu zapuštěn.

#### Sklon svahů hráze

Návrh sklonů hráze se vytváří na základě posouzení stability s přihlédnutím k její údržbě. Jistý ohled by měl být kladen i na začlenění hráze do okolní krajiny. Obecnou představou pro sklony hráze MVN je sypání hráze ve sklonu 1:2 a mírnější. (Doležal, 2011)

Je nutné také přihlídnout k mechanice zemin, které budou na stavbu tělesa hráze použity. Obecné předpoklady pro návrh sklonů hráze by měly být následující:

- těleso hráze i základová spára by měli být řádně odvodněny, např. užitím drenážních prvků,
- zemina použitá ke stavbě tělesa hráze by měla být řádně zhutněna.

Pro nižší hráze lze užít sklony hráze bez podrobnějšího výpočtu ve shodě s normou ČSN 75 2410. Pro nejobvyklejší hráze lze vycházet z Tab. 13.

**Tab. 13:** Orientační sklony svahů hráze

Těsnicí část hráze (jádro) leží v zóně	Stabilizační část hráze leží v zóně	Zařazení zemin		Svahy	
		Těsnicí část hráze (jádro)	stabilizační část hráze	návodní 1:x <sup>4)</sup>	vzdušný 1:y
A	DB, CE	GM, GC, SM	lom. kámen	1:1,75	1:1,5
		SC, CG, MG	GW, SW	1:2,8 <sup>1)</sup>	1:1,75
		ML-MI, CL-CI	GP, SP	1:3 <sup>1)</sup>	1:1,75
AB	D, CE	GM, SM	lom. kámen	1:3	1:1,5
		GC, SC, MG, CG, MS, CS	GW, SW	1:3,2	1:1,75
		ML-MI, CL-CI	GP, SP	1:3,4	1:1,75
CAB	D, E	GM, GC, SM, SC, MG, CG, MS, CS	lom. kámen, GW, GP	jako při poloze jádra	1:2,0 <sup>2)</sup>
		ML-MI, CL-CI	SW, SP	v zóně AB	1:2,2 <sup>3)</sup>
CABD	E			jako u homogen-ních hrází	jako při poloze jádra v zóně CAB
Homogenní hráze <sup>5)</sup>		GM, SM		1:3	1:2
		GC, SC		1:3,4	1:2
		MG, CG, MS, CS		1:3,3	1:2
		ML-MI, CL-CI		1:3,7	1:2,2

1) U velmi propustného materiálu, popř. se zřetelem k rychlosti poklesu hladiny, je možné zvětšit až na 1:2,25.

2) Je-li v podloží hráze materiál o smykové pevnosti min.  $\text{tg}\varphi_{sf} = 0,74$ , je možné zvětšit na 1:1,8.

3) Je-li v podloží hráze materiál o smykové pevnosti min.  $\text{tg}\varphi_{sf} = 0,74$ , je možné zvětšit na 1:2.

4) Uvedený sklon pro návodní svah se použije pod nejvyšší dlouhodobě udržovanou hladinou, nad touto hladinou se může svah provést o sklonu 1:(x - 0,5).

5) U hrází do výšky 4 m se může sklon návodního svahu zvětšit na 1:(x - 0,5)

### Návrh patního drénu

Patní drén, který je umístěn u paty vzdušního svahu hráze, je prvek, který slouží k odvedení prosáklé vody z hráze. Tento prvek se nejčastěji navrhuje z hrubozrnného materiálu, jako je štěrk či makadam. Z tohoto prvku je pak voda odvedena drenážním systémem, ústícím do koryta pod hrází. Rozměry tohoto drénu se řídí především rozměry hráze a to tak, aby byly dostatečně dimenzovány vzhledem k velikosti tělesa hráze.

### Opevnění návodního svahu hráze

Za předpokladu, že nedochází ke kolísání hladiny v nádrži se svahy tělesa hráze na návodní straně hráze opevňují minimálně 0,5 m nad stálou hladinu a minimálně 0,8 m pod hladinu zásobního prostoru. Toto opevnění se zavazuje do bočních břehů při hrázi a musí být dostatečně opřeno o kamenný nebo betonový práh.

Nejčastěji užívaným materiálem na opevnění návodního svahu hráze se používá kamenný nebo štěrkový pohoz, kamenná rovinanina a beton.

### Opevnění vzdušního svahu hráze

Při návrhu opěvnění vzdušního svahu hráze se většinou vystačí s takovým druhem opevnění, který bude dostatečně chránit použitou zeminu proti vodní erozi a povětrnostním podmínkám. Za tímto účelem většinou postačí hydroosev. Podle funkce nádrže je pak možno na vzdušném svahu hráze vysadit keře či malé stromky.

O oba typy porostu je však nutno se náležitě starat a dbát na to, aby nedošlo k narušení stability hráze např. prorůstáním kořenů, které by mohly vytvořit preferenční průsakové cesty.

### Úprava dna nádrže

Činnosti související s úpravou dna nádrže spočívají především v odstranění porostů a staveb v zátopovém území, popřípadě k urovnání, a pokud je potřeba, utěsnění dna nádrže.

Odstranění porostů se děje z důvodu hygienických požadavků. Zůstalé dřeviny se v nádrži rozkládají a snižují tak kvalitu vody v nádrži. Dále by mohly být příčinou ucpání funkčních prvků nádrže, jako jsou např. výpustná zařízení.

#### 4.5.5 Výpustná zařízení MVN

Výpustná zařízení MVN vodních nádrží slouží především k plnění základních funkcí VD. Tato zařízení slouží k regulování hladiny vody v nádrži, vypouštění nádrže atd.

K výpustným zařízením řadíme především zařízení určená k vypouštění vody, odběrná zařízení, bezpečnostní přelivy a další zařízení určená pro plnění požadovaných funkcí.

Tato zařízení se umisťují obvykle v nejnižším místě nádrže. Tak je zajištěna možnost úplného vypuštění nádrže. Minimální průměr spodní výpusti je 300 mm. (Hanák, 2008) Každé takové zařízení se skládá ze tří částí, a to vtokové části, která by měla být osazena česlemi, výpustného potrubí a vývaru. Všechny výpusti by měly obsahovat uzavírací prvek, který musí být ovladatelný za všech okolností.

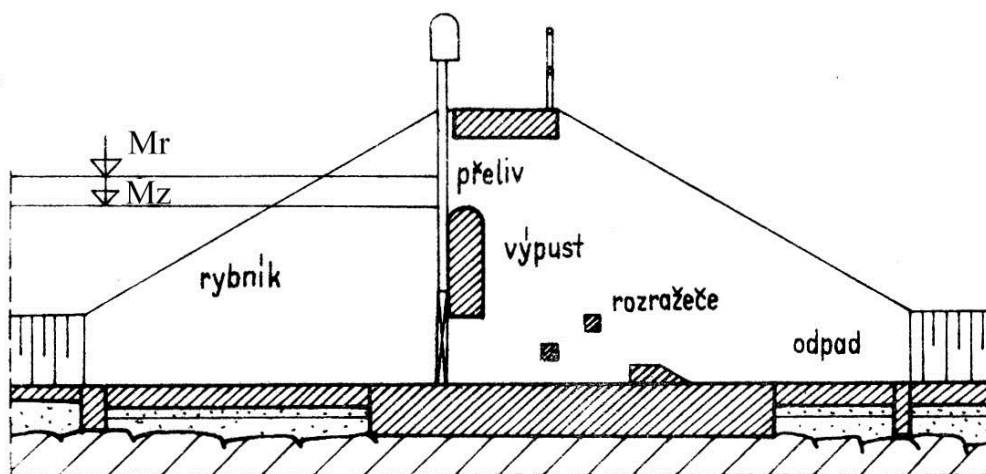
Z konstrukčního hlediska dělíme výpusti na

- otevřené (žlabové),
- uzavřené (trubní).

### Otevřené (žlabové) výpusti

Jako otevřené výpusti slouží kamenné nebo ŽB žlaby. Stěny žlabu se budují na celou výšku hráze, pokud to situace vyžaduje, je vhodné tento žlab přemostit.

Hradící prvky otevřených výpustí jsou stavidla, segmentové a klapkové uzávěry. Horní hrana hrazení nádrže se navrhuje na výšku hladiny zásobního prostoru.



**Obr. 8:** Jednoduchá stavidlová výpust' (Václavík, 2007)

### Uzavřené (trubní) výpusti

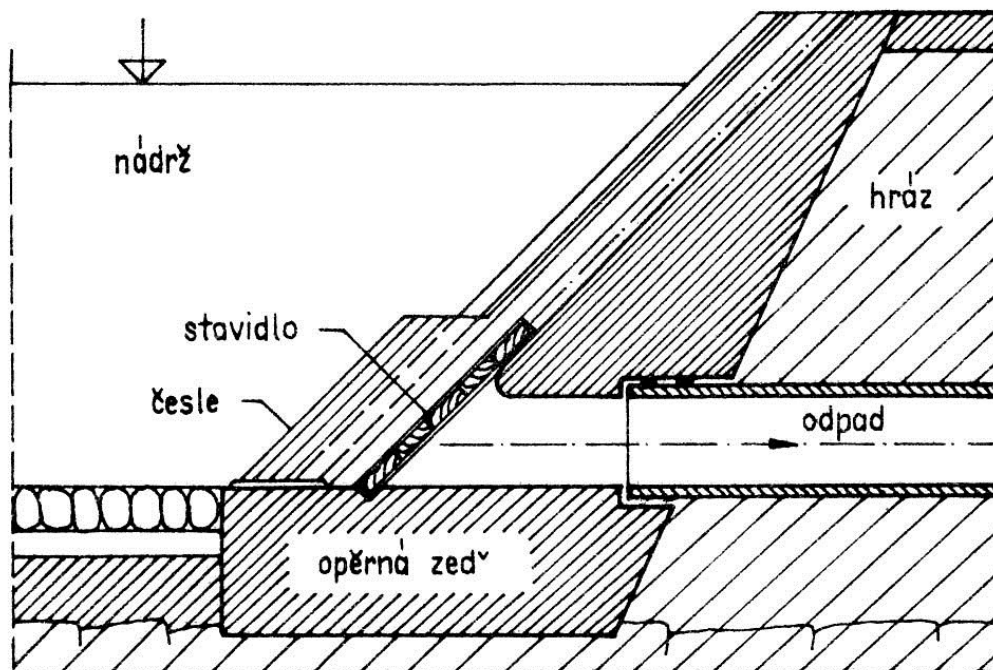
Uzavřené výpusti používají k odvádění vody potrubí. Vtoková část je opatřena česlemi, dále vlastním uzávěrem a zařízením pro tlumení kinetické energie vody.

Podle typu uzavíracího mechanismu rozdělujeme trubní výpusti na

- lopatové nebo šikmé stavidlové uzávěry,
- čepové uzávěry,
- šoupátkové uzávěry,
- stavidlové uzávěry a plochá kanalizační šoupátky,
- požeráky.

#### Lopatové uzávěry

Tyto uzávěry patří k nejstarším užívaným typům. Konstrukčně je tento mechanismus tvořen vlastní lopatou, což je dřevěná deska oválného tvaru, ovládacím mechanismem v podobě táhla, což je ocelová sřoubovaná nebo dřevěná tyč a vodící lištou, v jejíchž kolejkách se lopata pohybuje. Zamezení vstupu vody do potrubí je způsobeno tlakem, kterým voda v nádrži působí na lopatkový uzávěr.

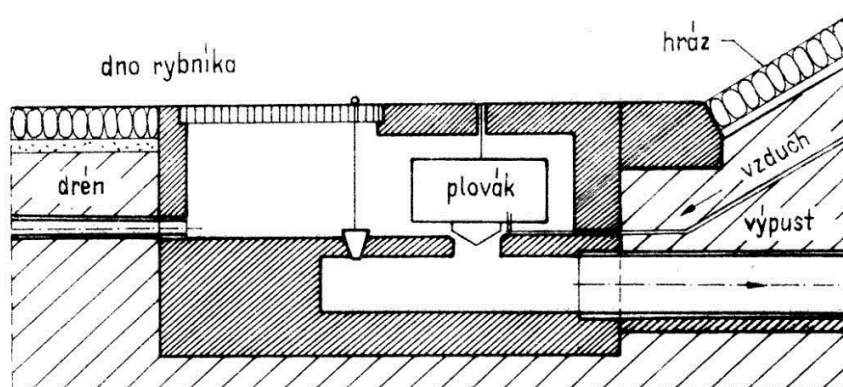


**Obr. 9:** Lopatový uzávěr, stavidlo je vlastní lopata (Václavík, 2007)

#### Čepové uzávěry

Čepový uzávěr je o něco mladší než lopatový uzávěr. Funguje na principu pneumatického plnění vzduchem plováku. Při plnění tohoto plováku vzduchem se tento spolu s čepem zvedne a umožní tak vodě vtéct do odtokového potrubí. Pro zavření

uzávěru se plovák naopak zavodní a klesne čepem do vtokového otvoru a tímto jej uzavře.

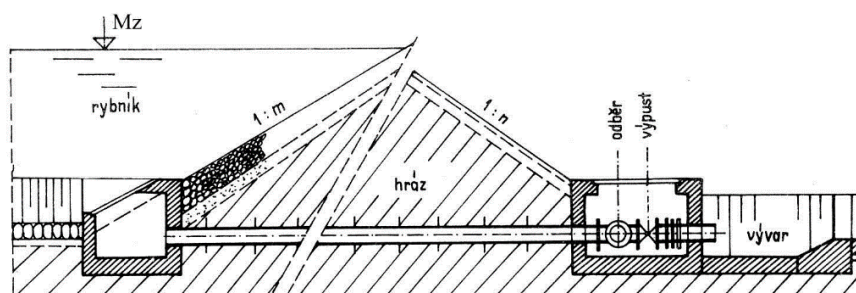


Obr. 10: Čepový uzávěr (Václavík, 2007)

### Šoupátkové uzávěry

Šoupátkové uzávěry využívají buď ploché kanalizační uzávěry, nebo regulační trubní šoupátka. Je možné je umístit na obou stranách hráze.

Vtok uzávěru je na návodní straně hráze chráněn česlemi. Za předpokladu umístění uzávěru na vzdušné straně hráze, použije se tlakového ocelového potrubí. Na obrázku níže je vidět trubní výpust s šoupátkovým uzávěrem, používaná na malých vodních nádržích ve Francii. (Hanák, 2008)

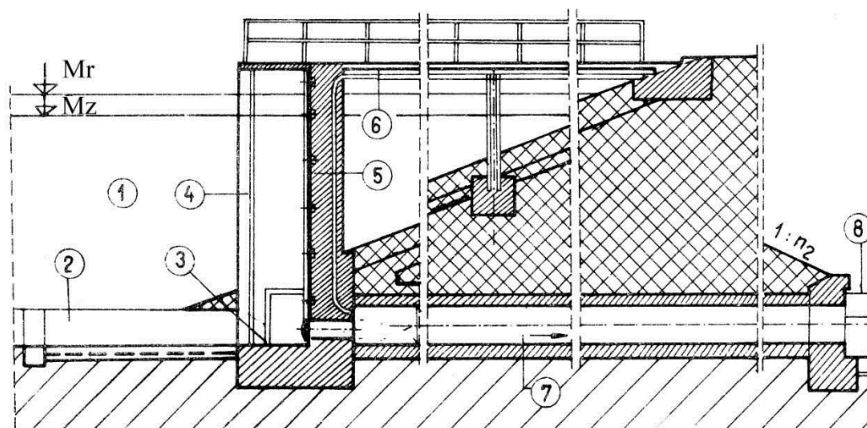


Obr. 11: Šoupátkový uzávěr na vzdušné straně hráze

### Ploché kanalizační šoupátkové uzávěry

Tyto uzávěry patří k poměrně rozšířeným zařízením. Zařízení se skládá z vlastního šoupátka a ovládacího táhla opatřeného šroubením na jeho konci, popřípadě šroubovou tyčí.





**Obr. 12:** Trubní výpust s plochým šoupátkovým uzávěrem: 1 - nádrž, 2 - odpad, 3 - česle, 4 - hrazení, 5 - uzávěr, 6 - lávka, 7 - odpadní potrubí, 8 - vývar

### Požeráky

Požeráky patří mezi nejrozšířenější typy výpustných zařízení pro svou jednoduchost a efektivitu provozu.

Z hlediska konstrukčního uspořádání se požeráky dělí na tři základní typy: otevřené, polouzavřené a uzavřené. Objekt požeráku je zpravidla ŽB monolit, použita může být i ocel nebo dřevo. Pro zajištění úplného vypuštění nádrže se požeráky umísťují do nejnižšího místa v nádrži. Umístění požeráku je buď v patě hráze nebo v návodním svahu hráze.

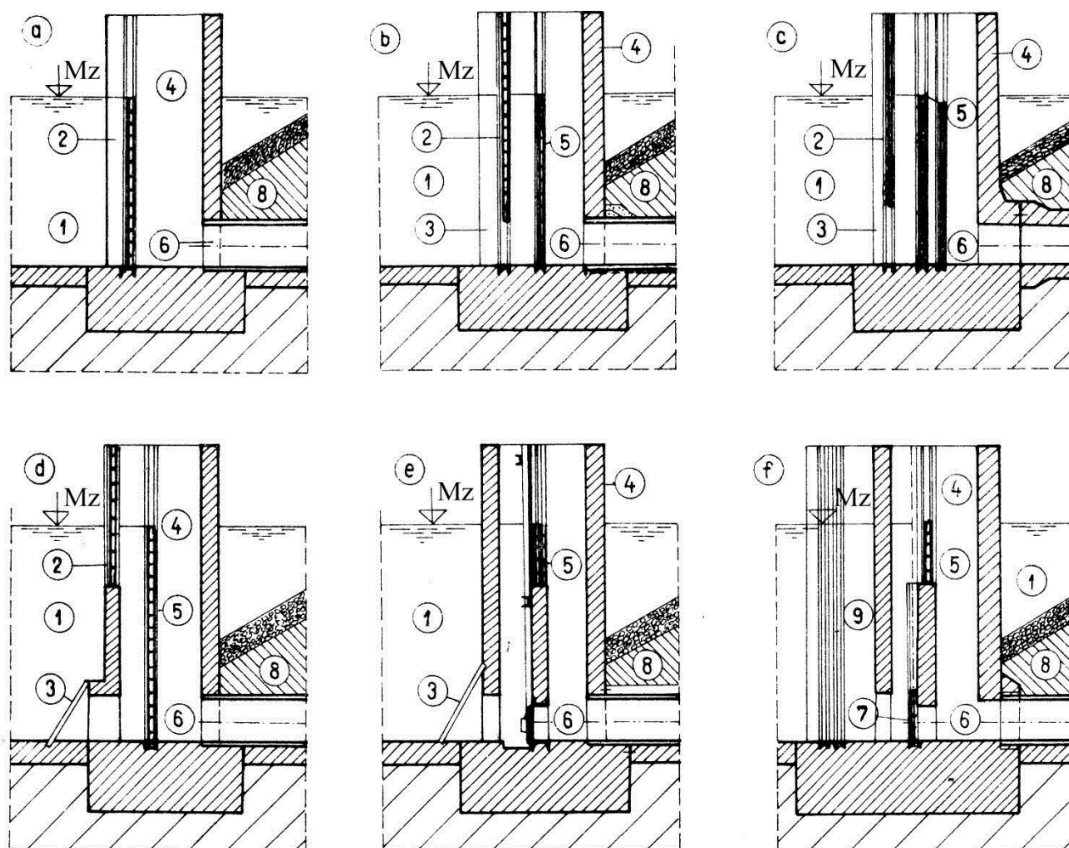
Otevřené požeráky dále rozdělujeme dle počtu dlužových stěn na požeráky s jednou až třemi dlužovými stěnami, a požeráky s odběrem vody od hladiny (jedna stěna) nebo ode dna (dvě až tři stěny).

Polouzavřené požeráky mají předřazenou dlužovou nornou stěnu a odebírají vodu ode dna.

Uzavřené požeráky se konstruují s jednou nebo dvěma dlužovými stěnami, nebo dnovým uzávěrem pod krátkou dlužovou stěnou.

Dlužová stěna se skládá z jednotlivých dluží, které bývají vyrobeny obvykle z tvrdého dřeva, jejichž výška je zpravidla 0,15 – 0,20 m. Vypouštění nádrže se provádí odebíráním jednotlivých dluží (vyhrazováním), které jsou umístěny v ocelových drážkách na protilehlých vnitřních stěnách požeráku, až na požadovanou hladinu.

Jednotlivé konstrukční řešení požeráku ilustruje následující obrázek.



**Obr. 13:** Schéma konstrukcí požeráku: 1 - nádrž, 2,5 - dlužky, 3 - česle, 4 - požerák, 6 - odpad, 8 - hráz

Na obrázku 13

- je znázorněn otevřený požerák s jednou dlužovou stěnou. Tento typ je nejjednodušší, s možností odběru vody od hladiny;
- je znázorněn otevřený požerák se dvěma dlužovými stěnami. U tohoto typu je možnost odběru vody jak od hladiny, tak ode dna nádrže;
- je znázorněn otevřený požerák se třemi dlužovými stěnami. Umožňuje odběr vody ode dna nádrže při osazení česlí do spodní části první dlužové stěny;
- je znázorněn polouzavřený požerák. Jeho konstrukce je staticky výhodnější, protože v dolní části tvoří polouzavřený rám (Václavík, 2007). Umožňuje odběr vody od hladiny;
- je znázorněn kombinovaný požerák s výpustí, který se doporučuje užívat u nádrží s hrází vyšší než 3 m. Tento typ používá jako uzávěru kanalizační šoupátko.

- f) je znázorněn kombinovaný požerák s výpustí, který se doporučuje užívat u nádrží v hrázích vyšší než 3 m. Tento typ používá jako uzávěru kanalizační stavidlo.

#### Odpadní potrubí

Odpadní potrubí je důležitou součástí výpustí, která odvádí odpadní vody pryč z prostoru nádrže. Navrhuje se jako tlakové (v případě uzávěru na vzdušném straně hráze) nebo beztlakové, o volné hladině.

Potrubí se navrhuje jako ŽB, betonové nebo ocelové. Pro tlakové proudění se vždy užívá ocelových trub, které jsou opatřeny manžetou tak, aby po jejich hladkém povrchu nestékala voda do tělesa hráze.

Odpadní potrubí musí být obetonováno. Nejmenší průměr potrubí se navrhuje 300 mm.

#### 4.5.6 Bezpečnostní přelivy MVN

Hráze zemních nádrží jsou více náchylné ke vzniku poruchy při přetečení koruny hráze než jiné typy přehrad. Je to z důvodu náchylnosti zemní hráze k odnosu částic zeminy vodou a působení erozních jevů na vzdušném svahu hráze. (Hydraulic Design of Stepped Spillway and Downstream Energy Dissipators for Embankment Dams, 2007) Bezpečnostní přeliv MVN tedy slouží jako pojistný prvek pro bezpečné převedení povodňových průtoků nádrží a jako ochranný prvek nádrže proti přelití hráze.

Tyto pojistné prvky se budují jako nehrazené, ve výjimečných případech hrazené. Jsou navrhovány na průtok  $Q_{100}$ , přičemž se ve většině případů nepočítá s retenčním účinkem nádrže, z tohoto důvodu jsou spíše ochranným prvkem pro ochranu vlastní hráze. Navrhují se u všech průtočných nádrží, dle normy ČSN 75 2410 je doporučeno při rekonstrukci stávajících MVN bez tohoto pojistného prvku, opatřit tyto bezpečnostní přelivy. Dle konstrukčního řešení se bezpečnostní přelivy dělí na

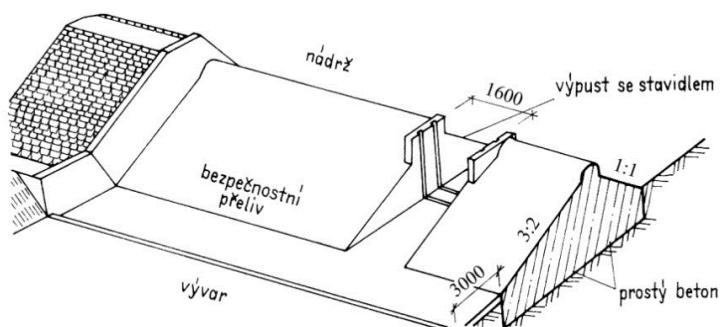
- korunové (hrázové) přelivy,
- břehové (boční) přelivy,
- kašnové přelivy,
- šachtové přelivy,
- kombinované přelivy.

#### Korunové (hrázové) přelivy

Tento typ přelivů je součástí tělesa hráze a skládá se z přelivné hrany, která je rovnoběžná s osou koruny hráze, zařízení pro odvedení vody pod hráz (koryto či skluz),

zařízení pro tlumení kinetické energie vody, tzv. vývar, a napojení koryta od přelivu do koryta od výpusti.

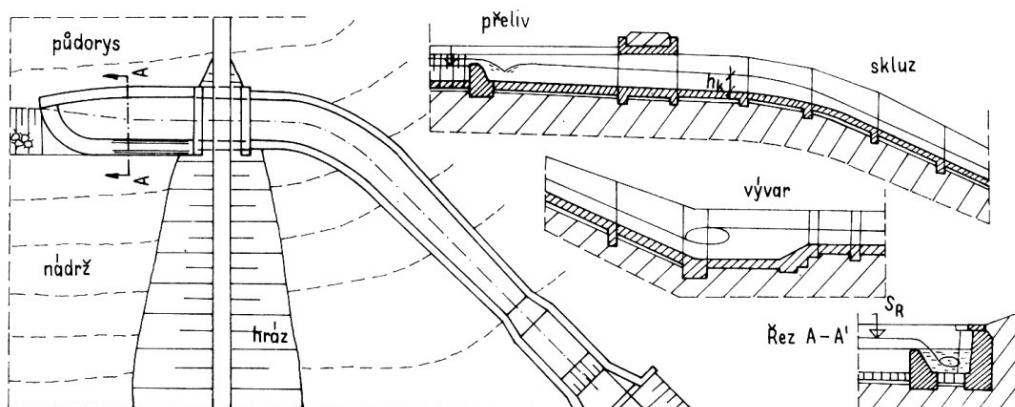
Korunový přeliv je vytvořen opevněním koruny hráze a vzdušního svahu pod přelivem. Vlastní výstavba přelivu je realizována z betonu, ŽB či kamenů vložených do betonového lože. Tvar většinou kopíruje lichoběžníkový tvar hráze.



**Obr. 14:** Korunový (hrázový) bezpečnostní přeliv s výpustným zařízením

#### Břehové (boční) přelivy

Břehové neboli boční přelivy se navrhují mimo vlastní těleso hráze po její straně. Budují se převážně tam, kde jsou přiléhající svahy k nádrži strmé. (Hydraulic Research on Side Channel Spillways Based on Physical Modeling and Optimization, 2003) Osa břehového přelivu je na osu hráze kolmá. Vlastní objekt bezpečnostního přelivu se skládá z přelivné hrany, spadiště, skluzu a vývaru. Přeliv může být jedno- i oboustranný. Vdušný svah přelivu se navrhuje ve sklonu 5:1. (Hanák, 2008) Objekt spadiště se dá přirovnat k obdélníkovému kamennému či betonovému bazénu na spodním konci rozšířenému a otevřenému ve směru kolmém na osu hráze, se dnem v určitém sklonu. Jeho délka kopíruje délku přelivné hrany.

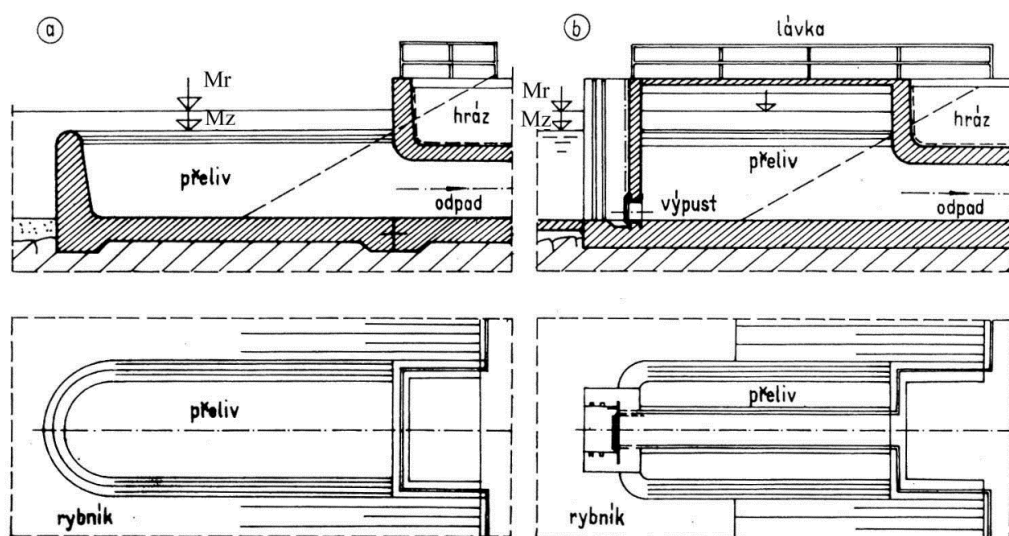


**Obr. 15:** Břehový (boční) bezpečnostní přeliv; půdorys, řez

### Kašnové přelivy

Návrh kašnového přelivu se řídí délkou hráze. Pokud je tato příliš dlouhá, než aby se použil korunový přeliv, přistupuje se k řešení kašnového přelivu.

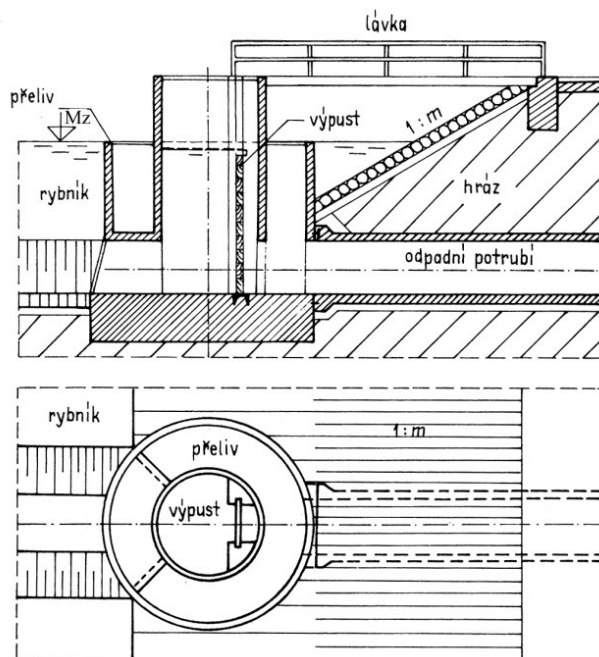
Tvoří jej vlastní kašna, spadiště, odpad a vývar. Materiál, použitý ke stavbě kašny, je lomový kámen, beton nebo ŽB. Tvar kašny je půlkruhový nebo půleptický. Objekt kašny se umísťuje těsně před hráz, nebo je do ní mírně zapuštěn. Kašnový bezpečnostní přeliv se navrhuje prostý, nebo sdružený (kombinovaný) s výpustným objektem buď po straně přelivu, nebo uprostřed délky přelivné hrany. Ve druhém případě je opatřen lávkou.



**Obr. 16:** Kašnový bezpečnostní přeliv: a) prostý, b) kombinovaný s výpustí (Václavík, 2007)

### Šachtové bezpečnostní přelivy

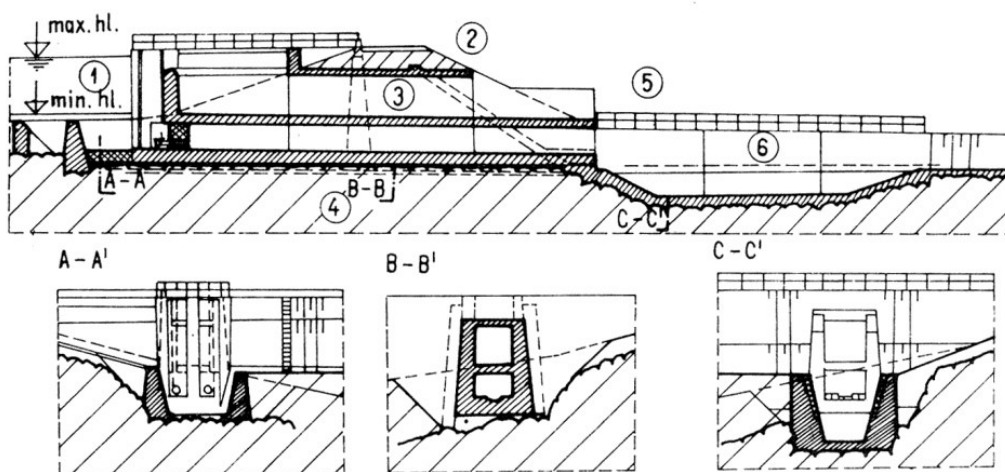
Tento typ přelivů se skládá z vlastní šachty ve tvaru válce stavěného z ŽB, horní část tohoto válce je zaoblena. Šachta je kolenem spojena s odpadním potrubím většího průměru než vlastní šachta z důvodu beztlakového proudění vody v odpadním potrubí.



**Obr. 17:** Jednoduchý šachtový přeliv (Václavík, 2007)

### Kombinované přelivy

Jak již název napovídá, funkce těchto přelivů je sdružená. Fungují jako přelivy, výpustná či odběrná zařízení. Přelivy těchto zařízení se konstruují jako žlabová či šachtová. Mezi nejrozšířenější typy patří jedno a dvoupatrová zařízení. Jsou vybaveny dvěma spodními výpustěmi.



**Obr. 18:** Sružený funkční objekt: 1) výpust' a odběr, 2) hráz, 3) spadiště a odpad, 4) výpustná štola, 5) výtok, 6) vývar (Václavík, 2007)

## 5. Možné varianty řešení rekonstrukce

### 5.1 Posouzení možných variant řešení

Rekonstrukce retenční nádrže může být provedena v několika variantách:

- 1) odtěžení sedimentů – tato varianta spočívá v mokřém odtěžení sedimentů ze dna nádrže a tím zvýšení retenční účinnosti nádrže;
- 2) generální oprava tělesa požeráku – v tomto případě by došlo k vypuštění nádrže, vyčištění objektu požeráku od nánosů a odtěžení sedimentů. Dále by na požeráku byla provedena instalace nových dluží a mřížového víka z důvodu zamezení dalšího zanášení výpusti;
- 3) kompletní rekonstrukce – technicky nejnáročnější varianta. Došlo by k vypuštění nádrže, odtěžení sedimentů, kompletnímu odtěžení tělesa hráze, výměně požeráku a odtokové štol. Dále by ve shodě s doporučením normy ČSN 75 2410 byl vybudován bezpečnostní přeliv a jeho příslušenství.

Po zhodnocení současného stavu VD jsem se rozhodl dále rozpracovat variantu 3 kompletní rekonstrukce, neboť za předpokladu naplnění varianty 1 nebo 2 by později muselo tak jako tak dojít k větší rekonstrukci. Vzhledem k havarijnímu stavu VD tedy bude původní hráz zcela odtěžena a bude nasypáno nové těleso hráze. Zároveň budou obnoveny výpustné objekty a zřízen bezpečnostní přeliv s odtokovou štolou. Z nádrže budou odtěženy sedimenty, litorální zóna v severovýchodní a východní části nádrže bude ponechána.

### 5.2 Rozpracování vybrané varianty řešení

#### 5.2.1 Založení hráze

Nová hráz bude umístěna v místě původního tělesa hráze. Původní těleso bude odkopáno až na základovou spáru, na kótu 647 m n.m. Základová spára se očistí a zhutní. Odstraněna bude veškerá dřevěná kulatina, která nebude více použita. Dále bude odstraněna skryvka v tloušťce 0,5 m, viz příloha č.7.

#### 5.2.2 Hráz retenční nádrže

Příčný profil hráze má tvar lichoběžníku se šířkou koruny 4 m. Sklon návodního svahu je 1:2,5, sklon vzdušního svahu je 1:2. Hráz je navržena jako čelní, průtočná. Délka hráze je 24,6 m, kóta koruny hráze je 650,5 m n.m. V návodním svahu hráze je umístěn kombinovaný objekt požeráku a kašnového přelivu, přístupný po železné lávce z koruny hráze. Vše je podrobně zakresleno ve výkresu č. 1, 2 a 3.

Pro nasypání nového tělesa hráze bude použita zemina převážně z místních zdrojů; jílovito-kamenitá zemina s obsahem jílu malé až střední plasticity, zbytek bude dosypán vhodnou zeminou z původního tělesa hráze. Jíl s nízkou až střední plasticitou (CL, CI) je dle ČSN 75 2410 pro homogenní hráz vhodnou zeminou z hlediska půdně mechanických vlastností. Hutnění se bude provádět ve vrstvách po 30 cm.

#### 5.2.3 Koruna retenční nádrže

Koruna retenční nádrže bude šířky 4 m, stejně jako u původního tělesa. Bude nasypána na kótu 650,5 m n.m. Komunikace v koruně hráze nebude zpevněna, neboť bude sloužit pouze pro dopravní obslužnost hráze. Sklon koruny hráze bude dle normy do 3%. Na korunu hráze navazuje na východní i západní straně lesní komunikace, která není dále upravena.

Z koruny hráze bude veden obslužný železný můstek k objektu požeráku v délce 8,65 m opatřen zábradlím po celé své délce. Železný můstek bude na straně hráze usazen do betonové patky, zobrazeno v příloze č.5.

Převýšení koruny hráze nad maximální hladinu je 0,5 m.

#### 5.2.4 Návodní svah

Návodní svah hráze bude ve sklonu 1:2,5. Na návodním svahu bude těleso hráze obloženo kamennou rovinaninou do 80 kg, do hloubky 0,3 m po celé délce koruny. Tato rovinanina bude položena na filtr ze štěrkopísku tloušťky 0,1 m. Původní břehy hráze zůstanou bez opevnění jak je znázorněno v příloze č.3.

#### 5.2.5 Vzdušní svah

Vzdušní svah hráze bude ve sklonu 1:2, ponechán jako u původní hráze. Svah bude opevněn vegetačně, hydroosevem. Výhledově se na vzdušním svahu uchytí rostlinná společenstva z okolí nádrže.

#### 5.2.6 Patní drén

Původní těleso hráze nebylo vybaveno patním drénem. Vzhledem k velkému zamokření okolního terénu i základové spáry samotné bylo rozhodnuto vybavit rekonstruovanou hráz patním drénem a předloženým drenážním kobercem, viz. příloha č.3 a 4.

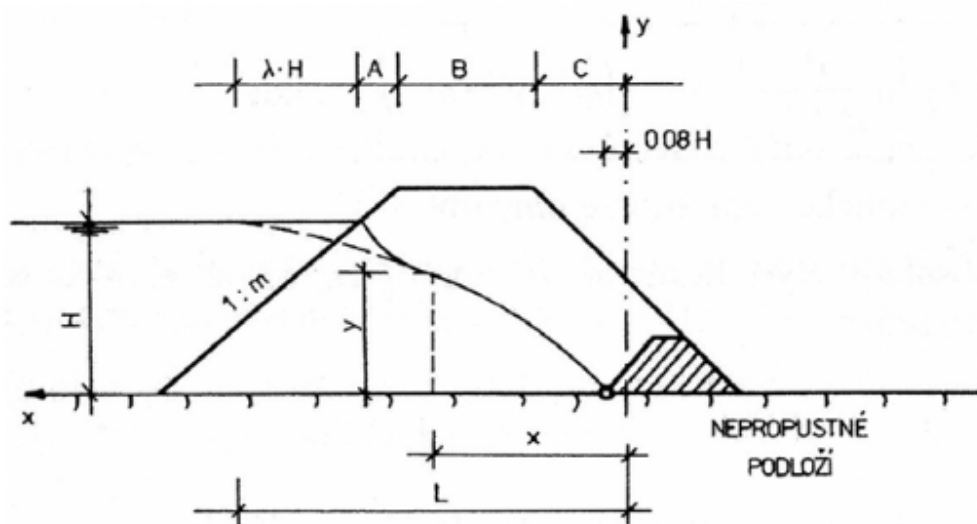


Patní drén bude vybudován ze silně propustného materiálu. Prosáknutá voda bude odvedena perforovaným potrubím z PVC DN 200. Rozměry patního drénu viz příloha č. 4.

Pro nádrž vypočteme průsakovou křivku z rovnice

$$y^2 = \frac{H^2}{L} \cdot x \quad (4)$$

kde  $H$  je výška vody v nádrži [m] a  $L$  a  $x$  viz Obr. 19: Schéma průsakové křivky pro homogenní hráz.



Obr. 19: Schéma průsakové křivky pro homogenní hráz

Ze vzorce (4) se vyjádří

$$L = \lambda \cdot H + A + B + C \quad (5)$$

kde  $A$ ,  $B$ ,  $C$  jsou vzdálenosti, viz Obr. 19: Schéma průsakové křivky pro homogenní hráz.

Koeficient  $\lambda$  se vypočítá ze vztahu

$$\lambda = \frac{m}{1 + 2m} \quad (6)$$

kde  $m$  je sklon návodního svahu [-].

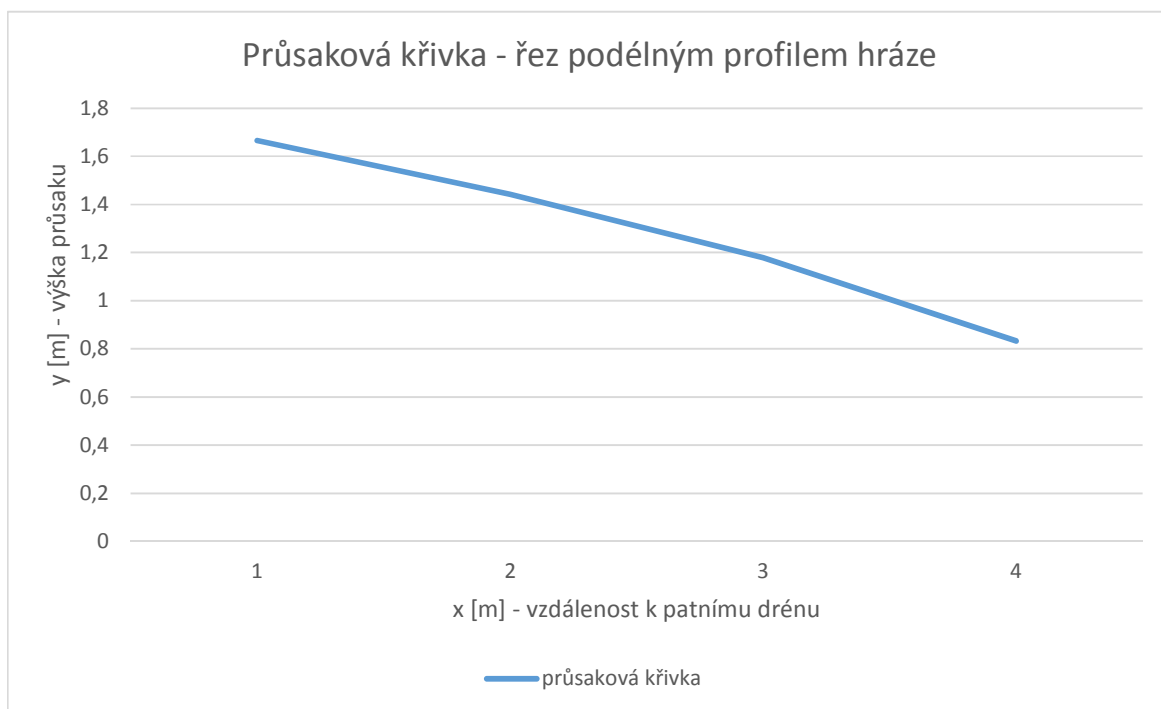
Pro MVN Sedlo je pak  $\lambda = \frac{2,5}{1 + 2 \cdot 2,5} = 0,47$ . Protože sklon svahu se nebude měnit, koeficient  $\lambda = 0,47$  bude shodný pro další výpočty.

Z přílohy č.4 určíme hodnoty  $A = 1,25 \text{ m}$ ,  $B = 4,00 \text{ m}$ ,  $C = 3,10 \text{ m}$  a  $\lambda \cdot H = 1,41 \text{ m}$ . Ze vzorce (5) pak vypočteme hodnotu  $L = 9,76 \text{ m}$ .

Pro osu hráze dostaneme tabulku

**Tab. 14:** Hodnoty průsakové křivky podélného profilu hráze

x [m]	1	2	3	4	5
y [m]	0,80023	1,131697	1,38604	1,600461	1,78937



**Obr. 20:** Průsaková křivka - řez podélným profilem hráze

Z tabulky 9 získáme graf průsakové křivky.

Další hodnoty pro ostatní řezy po 5 m jsou uvedeny níže.

**Tab. 15:** Hodnoty průsakové křivky v km 0,005

x [m]	1	2	3	4
y [m]	0,908674	1,285059	1,573869	1,817348

**Tab. 16:** Hodnoty průsakové křivky v km 0,010

x [m]	1	2	3	4
y [m]	0,832691	1,177603	1,442263	1,665382

**Tab. 17:** Hodnoty průsakové křivky v km 0,015

x [m]	1	2	3	4
y [m]	0,847512	1,198563	1,467933	1,695023

**Tab. 18:** Hodnoty průsakové křivky v km 0,020

x [m]	1	2	3	4
y [m]	0,899236	1,271712	1,557522	1,798472

### 5.2.7 Nádrž

Jak bylo popsáno výše, nádrž charakterizují tzv. batigrafické křivky neboli chakrateristické čáry. Tato dvojice čar vystihuje tvar a velikost útvaru tvořeného hrází, boky a dnem nádrže.

Prvá křivka,  $S = f(h)$ , vyjadřuje závislost zatopené plochy na hloubce nadržení vody, měřeno od nejnižšího místa nádrže. Druhá křivka,  $V = f(h)$ , pak vyjadřuje závislost objemu vody v nádrži na její hloubce.

Ze zaměřených ploch, které odpovídají jednotlivým vrstevnicím a tedy jednotlivým hloubkám, lze vypočítat objem vody mezi jednotlivými vrstevnicemi. Součtem jednotlivých vrstev pak objem vody v nádrži. Početně je tento vztah vyjádřen rovnicí (7).

Z výkresu v příloze č.1 odečteme hodnoty pro jednotlivé plochy mezi vrstevnicemi uvedené v následující tabulce:

**Tab. 19:** Plocha hladin pro jednotlivé vrstevnice

Kóta	Plocha [m <sup>2</sup> ]
647 m n.m.	207
648 m n.m.	2130
649 m n.m.	4157
650 m n.m.	5313

Pro ilustraci uvedme výpočet dílčího objemu mezi vrstevnicemi 648 a 649.

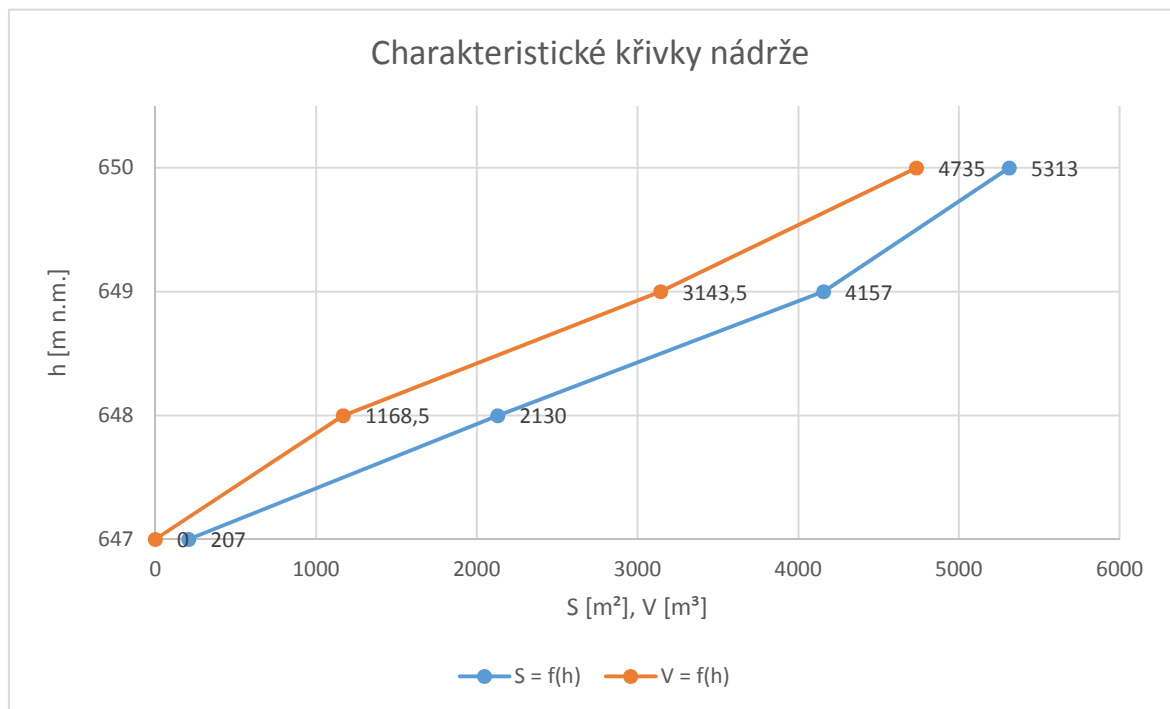
$$V_i = 0,5 (2130 + 4157) \cdot 1 = 3143,5 \text{ m}^3 \quad (7)$$

Pro zbylé hodnoty dostaneme výpočtem tabulku:

**Tab. 20:** Plochy a objemy jednotlivých hladin

Kóta [m n.m.]	Plocha S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]	Dílčí objem V <sub>i</sub> [m <sup>3</sup> ]	Suma objem [m <sup>3</sup> ]
647	207	0	0
648	2130	1169	1169
649	4157	3144	4312
650	5313	4735	9047

Po vynesení hodnot do grafu získáme batigrafické čáry. Na svislé ose je uvedena výška  $h$  [m], na ose vodorovné objem  $V$  [m<sup>3</sup>] a plocha  $S$  [m<sup>2</sup>].



**Obr. 21:** Charakteristické křivky nádrže

### 5.2.8 Výpustný objekt

Pro potřebu vypuštění nádrže byl zvolen požerák. Tento bude postaven v kombinaci s bezpečnostním přelivem. Voda z obou objektů bude odvedena pomocí dvou šachet vedoucích tělesem hráze, podrobné řezy výpustnými zařízeními k nalezení v příloze č.5 a 6.

#### Požerák

Objekt požeráku bude vyroben z betonu. Délka požeráku je 1,4 m, šířka 1,23 m a výška vlastního objektu 3,5 m. Vtoková část požeráku bude umístěna na kótě 647 m n.m. dle přílohy č.6 tak, aby bylo možné nádrž celou vypustit. Požerák bude postaven na základní desce z podkladového betonu C25/30 o stejných půdorysných rozměrech jako vlastní těleso požeráku, která leží na kótě 646,2 m n.m.

V požeráku jsou instalovány 3 drážky profilu U40 pro vložení jedné řady česlové stěny a dvou řad dluží. Přístup do objektu požeráku bude možný po žebříku vedoucím z koruny požeráku. Dále bude opatřen poklopem z roštového železa, který bude usazen do koruny požeráku do profilu L45 o rozměrech 0,91 m x 1,25 m. Další rozměry a popis objektu požeráku je k nalezení v příloze č.5 a 6.

Odtok z požeráku na navržen pro převedení  $Q_{2d} = 7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Výpust z požeráku bude mít rozměry 0,65 x 0,50 m (š x h). Pro zaručení beztlakového průtoku se odpadní

štola za požerákem rozšiřuje na 0,75 x 0,50 m. Štola bude vyrobena z betonu tloušťky 0,1 m, se sklonem 3,5%. Pro snížení ztrát třením bude vybudována z litého betonu do formy z ocelových plátů tak, aby součinitel drsnosti dle Manninga byl roven 0,010. Vyústění odtoku bude vedeno do původního koryta toku pod hrází.

Výpočet štoly:

návrhová výška štoly  $h = 0,5 \text{ m}$

návrhová šířka vtoku  $b = 0,65 \text{ m}$

sklon štoly  $i = 3,5\%$

součinitel drsnosti (Manning)  $n = 0,010$  (beton litý do ocelových plátů)

Pro výpočet plochy profilu použijeme

$$S = h \cdot b \quad (8)$$

Pro výpočet omočeného obvodu

$$O = 2 \cdot h + b \quad (9)$$

Získané hodnoty  $S = 0,325 \text{ m}^2$  a  $O = 1,65 \text{ m}$  dosadíme do vzorce pro výpočet hydraulického poloměru

$$R = \frac{S}{O} = \frac{0,325}{1,65} = 0,197 \quad (10)$$

Díky znalosti hydraulického poloměru spočítáme Manningovu rovnici

$$c = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0,010} \cdot 0,197^{\frac{1}{6}} = 76,3 \quad (11)$$

Z toho můžeme vypočítat rychlost proudění ve štolě

$$v = c \cdot \sqrt{R \cdot i} = 76,3 \cdot 0,083 = 6,33 \text{ m}^3/\text{s} \quad (12)$$

V posledním kroku vypočítáme maximální tlakový průtok navrženou štolou

$$Q = v \cdot S = c \cdot \sqrt{R \cdot i} \cdot S = 0,063 \cdot 0,325 = 2,06 \text{ m}^3/\text{s} \quad (13)$$

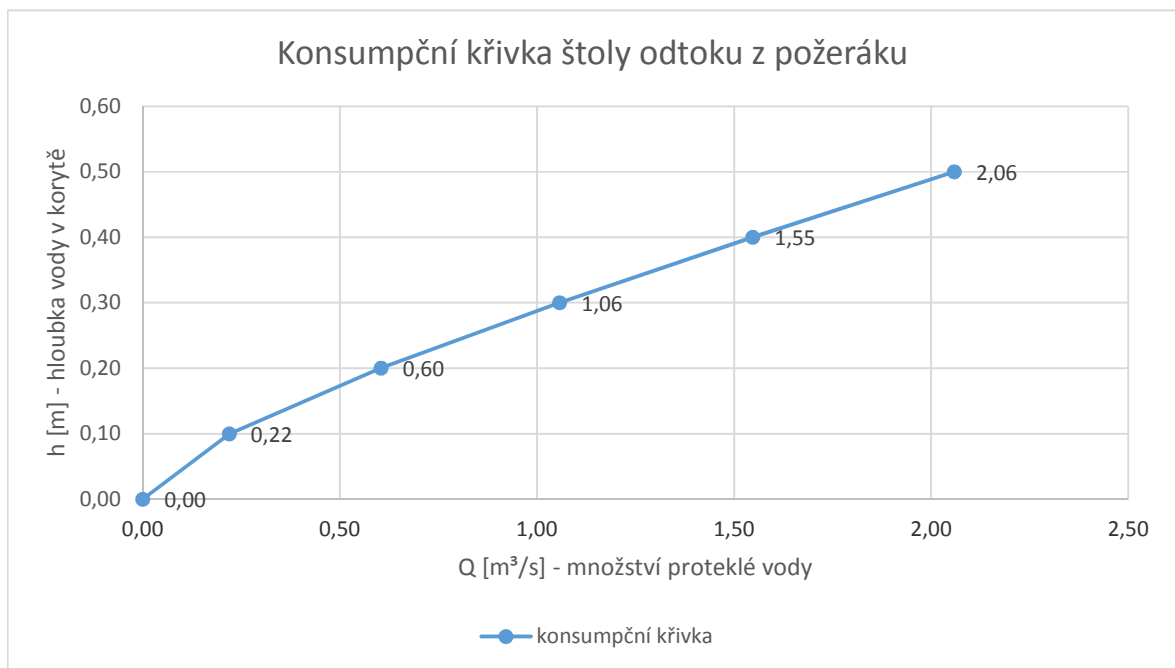
Z výsledku vidíme, že odtoková štola je navržena na maximální průtok  $Q = 2,06 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vzhledem k dvoudennímu průtoku  $Q_2 = 1,19 \text{ m}^3/\text{s}$  je odtok z objektu požeráku dimenzován dostatečně ( $Q > Q_2$ ).

Uvedené výpočty platí pro vtokovou část do odpadní štoly. Štola samotná má větší rozměr (z důvodu zabezpečení beztlakového odtoku) a tudíž bude vzhledem vypočítanému  $Q = 2,06 \text{ m}^3/\text{s}$  dostatečně dimenzována také.

**Tab. 21:** Hodnoty průběhu konsumpční křivky odtokového profilu požeráku

h [m]	S [m <sup>2</sup> ]	O [m]	R [m]	c [-]	v [m <sup>3</sup> /s]	Q [m <sup>3</sup> /s]
0,00	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,07	0,85	0,08	65,15	3,37	0,22
0,20	0,13	1,05	0,12	70,60	4,65	0,60
0,30	0,20	1,25	0,16	73,37	5,42	1,06
0,40	0,26	1,45	0,18	75,09	5,95	1,55
0,50	0,33	1,65	0,20	76,28	6,33	2,06

Z hodnot výšky h [m] a průtoku Q [m<sup>3</sup>/s] se sestojí konsumpční křivka odtoku z požeráku.



**Obr. 22:** Konsumpční křivka štolý odtoku z požeráku

### Bezpečnostní přeliv

Těleso bezpečnostního přelivu bylo zvoleno jako doplňující objekt vybudován v kombinaci s požerákem, příloha č.5 a 6. Původní nádrž bezpečnostním přelivem nebyla vybavena, avšak na doporučení normy ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže bylo přistoupeno k návrhu nového objektu bezpečnostního přelivu.

Bezpečnostní přeliv je navržen na povodňový průtok  $Q_{100} = 7,9 \text{ m}^3 / \text{s}$ .

Vlastní těleso je navrženo jako lichoběžníkový bazén se dnem skloněným ve směru toku (3,5%) rozšiřující se od požeráku směrem ke koruně hráze. Délka spadiště bude 6 m, šířka na straně požeráku 0,85 m, na straně odtokové štolý 1,4 m. Hloubka spadiště je navržena 2,3 m na straně požeráku, 2,5 m na straně odtokové štolý. Přepadová hrana bude zkosená směrem do spadiště, ve sklonu 2,5%.

Těleso bude, stejně jako odpadní štola, vybudováno z betonu litého do formy z ocelových plechů pro snížení součinitele drsnosti dle Manninga.

#### Přelivná hrana

Délka přelivné hrany se určí úpravou ze vzorce pro přepadový průtok

$$Q = \sigma \cdot m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}} \quad (14)$$

kde

- $\sigma$  je součinitel zatopení, pro dokonalý<sup>7</sup> přepad  $\sigma = 1$ ,
- $m$  je hodnota součinitele přepadu,
- $b$  je délka přelivné hrany,
- $g$  je gravitační zrychlení,
- $h$  je výška přepadového paprsku.

Rovnici (14) si upravíme do tvaru pro výpočet délky přelivné hrany

$$b = \frac{Q}{\sigma \cdot m \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}}} \quad (15)$$

Pro výpočet hodnoty součinitele přepadu  $m$  využijeme vztah dle Bazina pro ostrohranný obdélníkový přeliv bez bočního zúžení

$$m = \left(0,405 + \frac{0,003}{h}\right) \cdot \left[1 + 0,55 \cdot \left(\frac{h}{h + s_1}\right)^2\right] \quad (16)$$

kde  $h$  je opět známá výška přepadové paprsku a  $s_1$  je výška přelivné hrany na návodní straně přepadu, popřípadě hodnotu  $m$  určíme z tabulek. V obou případech získáme pro naši konstrukci hodnotu  $m = 0,42$ .

Po dosazení všech proměnných do rovnice (14) vypočteme délku přelivné hrany  $b = 12 \text{ m}$ .

#### Výpočet štoly

návrhová výška štoly	$h = 1,0 \text{ m}$
návrhová šířka vtoku	$b = 1,4 \text{ m}$
sklon štoly	$i = 3,5\%$
součinitel drsnosti (Manning)	$n = 0,010$ (beton litý do ocelových plátů)

---

<sup>7</sup> Dokonalý přepad je takový přepad, kdy dolní voda neovlivňuje přepad vody z nádrže, voda dopadá do volné hladiny.

Pro výpočet plochy profilu dosadíme do vzorce (7) a vypočteme hodnotu  $S = 1,4 \text{ m}^2$ .

Pro výpočet omočeného profilu dosadíme do rovnice (8) a vypočteme hodnotu  $O = 3,4 \text{ m}$ .

Stejným způsobem dosadíme vypočtené a dané hodnoty do rovnic (9), (10), (11) a (12), čímž získáme hodnoty pro hydraulický poloměr  $H = 0,412 \text{ m}$ , koeficient  $c$  z Manningovy rovnice  $c = 86,25$ , rychlost proudění v štolě  $v = 10,35 \text{ m}^3/\text{s}$ , a, konečně, maximální tlakový průtok štolou  $Q = 14,50 \text{ m}^3/\text{s}$ .

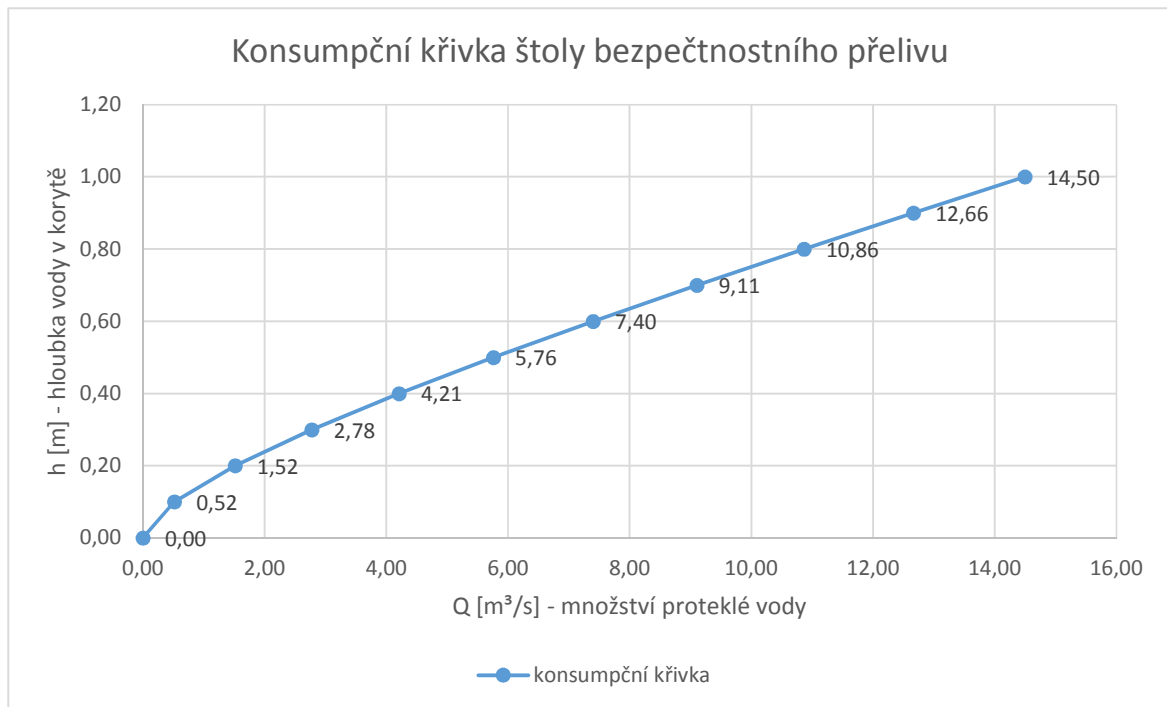
Porovnáním hodnot  $Q_{100}$  a vypočteného  $Q$  dojdeme k závěru, že navržené rozměry odtokové štolý jsou vyhovující pro beztlakové převedení průtoku  $Q_{100}$ .

**Tab. 22:** Hodnoty průběhu konsumpční křivky odtokové štolý bezpečnostního přelivu

$h \text{ [m]}$	$S \text{ [m}^2\text{]}$	$O \text{ [m]}$	$R \text{ [m]}$	$c \text{ [-]}$	$v \text{ [m}^3\text{/s]}$	$Q \text{ [m}^3\text{/s]}$
0,00	0,00	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,14	1,60	0,09	66,63	3,69	0,52
0,20	0,28	1,80	0,16	73,34	5,41	1,52
0,30	0,42	2,00	0,21	77,10	6,61	2,78
0,40	0,56	2,20	0,25	79,61	7,51	4,21
0,50	0,70	2,40	0,29	81,44	8,23	5,76
0,60	0,84	2,60	0,32	82,84	8,81	7,40
0,70	0,98	2,80	0,35	83,95	9,29	9,11
0,80	1,12	3,00	0,37	84,86	9,70	10,86
0,90	1,26	3,20	0,39	85,61	10,05	12,66
1,00	1,40	3,40	0,41	86,25	10,35	14,50

Z tabulky se sestrojí konsumpční křivka bezpečnostního přelivu.





**Obr. 23:** Konsumpční křivka štol bezpečnostního přelivu

Výpustná štola i štola bezpečnostního přelivu budou uloženy v tělese hráze v železobetonovém základu, viz příloha č.6 v délce 17 m výpustná štola a 11 m štola bezpečnostního přelivu. Ústít budou do kamenného vývaru a dále bude odtok zapuštěn do původního koryta. Celkovou situaci výpustných objektů ilustruje příloha č.5 a 6.

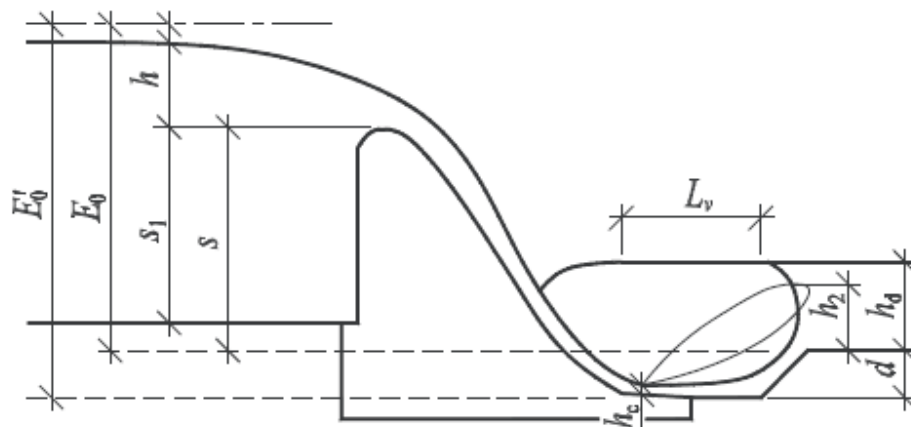
### Vývar

Objekt vývaru bude kamenné konstrukce na ŽB základové desce o navržených rozměrech: hloubka vývaru  $d = 0,6 \text{ m}$ , délka vývaru  $L_v = 5,1 \text{ m}$  (dle Smetany) a šířky  $b = 3 \text{ m}$ . Konstrukční rozměry vývaru jsou podloženy výpočtem níže, kde  $h = 0,7 \text{ m}$ ,  $s = 0,7 \text{ m}$ ,  $h_d = 0,5 \text{ m}$ ,  $s_d = 1,2 \text{ m}$ ,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ . Pro výpočet bylo uvažováno Coriolisovo číslo  $\alpha = 1$ , Boussinesqův součinitel  $\beta = 1$ , rychlostní součinitel přelivné plochy  $\varphi = 0,97$ , a součinitel přepadu  $m = 0,39$  (boční zúžení se pro jednoduchost neuvažuje).

Samotný výpočet se skládá ze 3 kroků:

- 1) určení návrhové průtoky  $q$ ,
- 2) výpočtu hloubky vývaru,
- 3) výpočtu délky vývaru.

V následujících krocích je vidět postup výpočtu.



**Obr. 24:** Schéma vývaru

### Určení návrhové průtoky

Návrhový průtok se spočítá ze vzorce

$$q = m \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}} = 1,02 \text{ m}^3/\text{s} \quad (17)$$

Provedeme opravu na vliv přítokové rychlosti, kde  $y_h = h + s = 1,4 \text{ m}$ .

$$v_0 = \frac{q}{y_h} = 0,86 \text{ m}^3/\text{s} \quad (18)$$

$$h_{od} = \frac{\alpha \cdot v_0^2}{2 \cdot g} = 0,04 \text{ m} \quad (19)$$

$$h_0 = h + h_{od} = 0,74 \text{ m} \quad (20)$$

Dosazením  $h_0$  do rovnice (17) získáme opravený přepadový průtok  $q = 1,12 \text{ m}^3/\text{s}$ . Po provedení kontroly na vliv přepadové rychlosti zjistíme, že rozdíl přepadové výšky  $h_0 = 0,74 \text{ m}$  a  $h_0 = 0,73 \text{ m}$  je pouze  $0,01 \text{ m}$  a není tedy třeba dalšího zpřesnění. Hodnotu  $q = 1,12 \text{ m}^3/\text{s}$  můžeme považovat za konečnou.

### Výpočet hloubky vývaru

Nejprve vypočteme tloušťku zúženého paprsku ze vzorce

$$E = S_d + h_0 = 1,94 \text{ m} \quad (21)$$

Pro samotnou tloušťku použijeme vzorec

$$h_c = \frac{q}{\varphi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (E)}} = 0,187 \text{ m} \quad (22)$$

Po dvou opravách získáme konečnou hodnotu  $h_c = 0,197 \text{ m}$ . Po položení  $h_c = h_1$ <sup>8</sup> vypočteme druhou vzájemnou hloubku

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \cdot \left[ \sqrt{1 + \frac{8 \cdot q^2}{g \cdot h_1^3}} - 1 \right] = 1,045 \text{ m} \quad (23)$$

Protože neplatí  $h_d > h_2$ , nenastane vzdutý skok a je tudíž třeba navrhnout vývar. Je potřeba odhadnout výšku  $d$  tak, aby míra vzdutí  $\sigma$  byla v rozmezí hodnot 1,05 a 1,10. Pro další výpočet jsem navrhl výšku  $d = 0,6 \text{ m}$ .

Výpočet provedeme odhadem z míry vzdutí

$$\sigma = \frac{h_d + d}{h_2} = 1,052 \quad (24)$$

a protože je míra v požadovaném rozmezí hodnot, navrhl jsem vhodnou výšku (resp. hloubku) vývaru.

#### Výpočet délky vývaru

Vývar byl navržen v délce  $L_v = 5,1 \text{ m}$  ve shodě se Smetanou. Ověříme výpočtem

$$L_v = 6 \cdot (h_2 - h_1) = 5,088 \text{ m} \quad (25)$$

Podle Pavlovského jsem návrhovou délku stanovil na  $L_v = 4,47 \text{ m}$

$$L_v = 2,5 \cdot (1,9 \cdot h_2 - h_1) = 4,47 \text{ m} \quad (26)$$

Podle Nováka jsem návrhovou délku stanovil na  $L_v = 4,24 \text{ m}$

$$L_v = K \cdot (h_2 - h_1) = 4,24 \text{ m} \quad (27)$$

pro  $K = 5,0$ <sup>9</sup>.

Pro zajištění dostatečné délky vývaru bude tento navržen podle Smetany, v délce  $L_v = 5,1 \text{ m}$ .

Vývar je zakreslen v příloze č.5.

---

<sup>8</sup> Zúžený paprsek je roven první vzájemné hloubce přilehlého vodního skoku.

<sup>9</sup>  $K$ :  $3 < y_2/y_1 < 4$   $K = 5,5$ ;  $4 < y_2/y_1 < 6$   $K = 5,0$ ;  $6 < y_2/y_1 < 20$   $K = 4,5$ ;  $y_2/y_1 > 20$   $K = 4,0$

## 5.2.8 Hrubý materiálový odhad nákladů

Hrubý materiálový odhad nákladů lze vidět z tabulky níže.

**Tab. 23:** Hrubý materiálový odhad nákladů

Materiál	JM	Jednotková cena [Kč]	Množství	Celková cena [Kč]
<b>Výpustná zařízení</b>				
Požerák - beton	m <sup>3</sup>	6 000 Kč	2,31	13 860,00
Podkladní beton - požerák (C25/30)	m <sup>3</sup>	6 500 Kč	0,45	2 912,00
Podkladní beton - štoly (C25/30)	m <sup>3</sup>	6 500 Kč	8,68	56 446,00
Podkladní beton - vývar (C25/30)	m <sup>3</sup>	6 500 Kč	3,74	24 310,00
Lomový kámen - vývar	t	200 Kč	0,00	0,31
Kamenný zához - vývar	t	260 Kč	0,00	0,38
Bezpečnostní přeliv - beton	m <sup>3</sup>	6 000 Kč	0,56	3 360,00
Štoly - beton	m <sup>3</sup>	6 000 Kč	91,63	549 780,00
Výpust beton	m <sup>3</sup>	6 000 Kč	10,25	61 500,00
<b>Návodní svah</b>				
Opevnění voda	m <sup>3</sup>	1 450 Kč	4,68	6 786,00
Betonová patka opevnění	m <sup>3</sup>	6 500 Kč	10,80	70 200,00
Filtrační materiál	t	340 Kč	1,56	530,40
<b>Vzdušní svah</b>				
Hydroosev	kg/m <sup>2</sup>	17 Kč	100,00	1 660,00
<b>Trubní materiál</b>				
PVC drenáž DN200	ks	120 Kč	18,00	2 160,00
<b>Zemina pro hráz</b>				
Zemina pro hráz	m <sup>3</sup>	350 Kč	1500,00	525 000,00
<b>Těžba</b>				
Těžba bahna	m <sup>3</sup>	350 Kč	1500,00	525 000,00
Odtěžení hráze	m <sup>3</sup>	450 Kč	40,00	18 000,00
<b>Suma celkem</b>				<b>1 861 505,09</b>

Výsledný odhad částky za investiční akci nezahrnuje náklady na práci. Tento materiálový odhad slouží pouze pro informativní znázornění a může se měnit v závislosti na mnoha faktorech, např. cena jednotlivých položek, atd.

## 6. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout možné postupy řešení rekonstrukce retenční nádrže Sedlo. Ze třech možných variant byla po zvážení všech okolností vybrána nejrozsáhlejší varianta - celková rekonstrukce.

V rámci zachování stávajícího rázu krajiny jsem navrhl nádrž ve stejném místě, s podobným uložením výpustného objektu, viz příloha č.1 – Situace. Hráz byla navržena jako čelní průtočná, s délkou 24,6 m, a korunou hráze nasýpanou na kótu 650,5 m n.m., viz příloha č.7. Vzhledem k nepředpokládanému provozu po koruně hráze tato není nijak zpevněna. Sklony svahů hráze jsou navrženy 1:2,5 na návodním svahu a 1:2 na svahu vzdušním. Jako stavební materiál poslouží zemina převážně z místních zdrojů, jílovito-kamenitá s obsahem jílu malé až střední plasticity, doplněna vhodnou zeminou z původního tělesa hráze, viz kapitola 5.2 Rozpracování vybrané varianty řešení a příloha č.3 – Vzorový příčný řez hrází.

Součástí návrhu hráze je určení průsaků nádrží. Tento jev je reprezentován průsakovou křivkou nádrže řešenou v kapitole 5.2.6 Patní dren. Dle výsledků této křivky bylo navrženo umístění a rozměry patního drénu a délka předloženého drenážního koberce, viz příloha č.4 – Příčný profil - řezy.

Každá nádrž má určité charakteristiky, reprezentovány tzv. charakteristickými křivkami nádrže. O tomto aspektu RN Sedlo pojednává kapitola 5.2.7 Nádrž.

Jako výpustné zařízení byl navržen požerák se dvěma dlužovými stěnami a předřazenou česlovou stěnou. Je navržen jako kombinovaný objekt s bezpečnostním přelivem. Požerák je spojen s betonovou odtokovou štolou, viz 5.2.7 Nádrž, přílohy č.5 a 6. Objekt požeráku je přístupný z koruny hráze po mostku z roštového železa opatřený zábradlím.

Vzhledem k tomu, že původní hráz byla vybudována v 60. letech, nebyla tato vybavena bezpečnostním přelivem. Ve shodě s technickou normou ČSN 75 2410 a doporučením pro rekonstrukce MVN bude hráz nádrže opatřena kombinovaným bezpečnostním přelivem s odtokovou štolou, více v kapitole 5.2.7 Nádrž, přílohy č.5 a 6. Takto řešený bezpečnostní přeliv a jeho odtok (ŽB monolit požeráku a bezp. přelivu s odtokem betonovými štolami) byl navržen kvůli omezení možnosti vzájemného posunutí jednotlivých částí tak, jako se stalo u původní nádrže, viz Obr. 29.

Pod hrází byl navržen vývar v délce 5,5 m, hloubce 0,6 m a šířce 3,4 m z lomového kamene, zakončený kamenným záhozem s navazujícím korytem toku, viz kapitola 5.2.7 Nádrž a přílohy č.5 a 6.

## Literatura

**Brammer, H. 1976.** *Soils of Zambia*. Lusaka : Ministry of Rural development, Department of agriculture, Landuse branch, 1976. B0006CXYY6.

**Česká geologická služba. 2015.** Geologická mapa 1:50000. *Mapové aplikace*. [Online] Česká geologická služba, 17. únor 2015. [Citace: 17. únor 2015.] [http://mapy.geology.cz/geocr\\_50/](http://mapy.geology.cz/geocr_50/).

**Čistý, Milan. 2005.** *Rybníky a malé vodní nádrže II*. Bratislava : Vydavateľstvo STU Bratislava, 2005. str. 94. 80-227-2294-4.

**Doležal, P. a kol. 2011.** *Malé vodní a suché nádrže*. 1. vydání. Praha : Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2011. str. 108. ISBN 978-80-86364-16-2.

**Dvorský, Tomáš. 2008.** *Koncepce návrhu účelové nádrže v povodí Olešenského potoka*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2008. Diplomová práce.

**Hanák, K. a kol. 2008.** *Stavby pro plnění funkce lesa*. 1. vydání. Praha : Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2008. str. 304. ISBN 978-80-87093-76-3.

*Hydraulic Design of Stepped Spillway and Downstream Energy Dissipators for Embankment Dams.* **Gonzalez, Carlos A a Chanson, Hubert. 2007.** 4, Sutton, England : Reed Business Publishing, 2007, Dam Engineering, Sv. 17. 0186-4076.

*Hydraulic Research on Side Channel Spillways Based on Physical Modeling and Optimization.* **Maradjieva, Mariana a Kazakov, Bogdan. 2003.** Thessaloniki : IAHR Congress, 2003.

**HYDROPROJEKT CZ a.s. 2011 .** Malé vodní nádrže ČSN 75 2410 . *Česká technická norma* . Praha , Česká republika : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví , Duben 2011 .

**Julien, Pierre Y. 2002.** *River mechanics*. Cambridge, UK : Press syndicate of the University of Cambridge, 2002. ISBN 0-521-56284-8.

**MŽP ČR. 2001.** Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách . *Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách* . Praha : autor neznámý, 2001.

**Quitt, Evžen. 1971.** *Klimatické oblasti Československa*. Brno : Geografický ústav Československé akademie věd, 1971. str. 73. ISSN 0587-1247.

**Skalický, Pavel. 2008.** Manipulační řád VN Sedlo. Valašské Meziříčí : autor neznámý, 2008.

**Státní fond životního prostředí, Giant interactive, s.r.o. 2015.** Operační program Životní prostředí - Stručně o OPŽP:.. *Operační program Životní prostředí*. [Online] Giant interactive, s.r.o., 7. březen 2015. [Citace: 7. březen 2015.] <https://www.opzp.cz/sekce/16/strucne-o-opzp/>.

**Ústav geotechniky Fakulty stavební VUT v Brně. 2002.** Regionální geologie České republiky. *Regionální geologie České republiky*. Brno : Ústav geotechniky Fakulty stavební VUT v Brně, 18. únor 2002.

**Václavík, V. 2007.** *Účelové vodohospodářské nádrže*. 1. vydání. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. str. 127. ISBN 978-80-248-1336-3.

**Votruba, Ladislav a Broža, Vojtěch. 1989.** *Water management in Reservoirs*. Prague : SNTL - Publisher of technical literature, 1989. ISBN 0-444-98933-1.

**Vrána, K. a Beran, J. 1998.** *Rybníky a účelové nádrže*. Praha : Skriptum ČVUT Praha, 1998. str. 150. ISBN 978-80-01-04002-7.

**Záleský, Petr. 2014.** Sucho lidi nezajímá, čtyři nové přehrady pod horami odmítají. *hradec.idnes.cz*. [Online] MAFRA a.s., 11. prosinec 2014. [Citace: 11. březen 2015.] [http://hradec.idnes.cz/stavba-prehrad-v-kralovehradeckem-kraji-f0q-/hradec-zpravy.aspx?c=A141211\\_2123393\\_hradec-zpravy\\_kol](http://hradec.idnes.cz/stavba-prehrad-v-kralovehradeckem-kraji-f0q-/hradec-zpravy.aspx?c=A141211_2123393_hradec-zpravy_kol).

## Mapová dokumentace



**Obr. 25:** Zobrazení nádrže v mapě - červený terčík



## Obrazová dokumentace



**Obr. 26:** Celkový pohled z hráze: sever



**Obr. 27:** Celkový pohled z hráze: severovýchod



**Obr. 28:** Poškozený objekt požeráku



**Obr. 29:** Nevhodně usazené trouby výpusti a jejich vzájemný posun





**Obr. 30:** Vyvázané klády z hráze a erozivní působení vody v místě požeráku



**Obr. 31:** Stromy prorůstající tělesem hráze

## Seznam příloh

Příloha č.1 – Situace

Příloha č.2 – Podélný profil nádrže

Příloha č.3 – Vzorový příčný řez hrází

Příloha č.4 – Příčný profil – řezy km

Příloha č.5 – Výpustná zařízení – řez a půdorysný řez

Příloha č.6 – Výpustná zařízení – řez

Příloha č.7 – Příčný profil nádrže